

PENGEMBANGAN E-LKPD BERBASIS PJBL PADA MATERI BIOTEKNOLOGI PANGAN KONVENSIONAL UNTUK MENINGKATKAN LITERASI SAINS

Development of a Project-Based Learning (PjBL) Based Electronic Student Worksheet (E-LKPD) on Conventional Food Biotechnology to Enhance Scientific Literacy

Erfinda Saqiyatur Rohmah

Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
erfindasaqiyatur.21030@mhs.unesa.ac.id

Rinie Pratiwi Puspitawati, Novita Kartika Indah

Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
riniepratiwi@unesa.ac.id novitakartika@unesa.ac.id

Abstrak

Rendahnya literasi sains siswa Indonesia menurut hasil PISA menunjukkan perlunya media ajar yang inovatif, sesuai Kurikulum Merdeka, dan sesuai tuntutan abad 21. Salah satunya dapat dicapai melalui pengembangan E-LKPD berbasis *Project Based Learning* (PjBL). Penelitian ini bertujuan menghasilkan E-LKPD berbasis PjBL yang valid, praktis, dan efektif. Materi yang dikembangkan dalam E-LKPD ini berfokus pada Bioteknologi Konvensional, yang meliputi konsep proses fermentasi dan penerapan bioteknologi dalam kehidupan sehari-hari. Penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan dengan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*), di mana tahap implementasi dilakukan dengan melibatkan 35 peserta didik kelas X SMAN 1 Lamongan. Hasil pengembangannya tercipta keunggulan E-LKPD dengan empat fitur utama, yaitu *Explorer Genius*, *Solusi Pintar*, *Grafik Insight*, dan *Sains Saksi* yang membantu siswa lebih interaktif, analitis, serta reflektif. Hasil validasi menunjukkan bahwa E-LKPD berada pada kategori sangat valid (100%). Kepraktisan ditunjukkan dengan keterlaksanaan sebesar 99,42% dan respons peserta didik 99,06% (kategori sangat praktis). Keefektifan E-LKPD tercermin dari peningkatan literasi sains dengan nilai *N-Gain* sebesar 72,49% (kategori tinggi). Capaian indikator literasi sains meliputi kemampuan menjelaskan fenomena ilmiah (94,28%), mengidentifikasi isu ilmiah (95,42%), dan menginterpretasikan data ilmiah (94,57%). Kesimpulan penelitian ini adalah E-LKPD berbasis PjBL layak digunakan sebagai media pembelajaran inovatif untuk meningkatkan literasi sains peserta didik secara efektif dan kontekstual.

Kata Kunci: E-LKPD, literasi sains, *Project Based Learning*, bioteknologi konvensional

Abstract

The low scientific literacy of Indonesian students, as reflected in PISA results, indicates the need for innovative learning media aligned with the Merdeka Curriculum and 21st-century learning demands. One solution is the development of a Project-Based Learning (PjBL)-based Electronic Student Worksheet (E-LKPD). This study aims to produce a PjBL-based E-LKPD that is valid, practical, and effective. The developed material focuses on Conventional Biotechnology, covering fermentation processes and the application of biotechnology in daily life. The research employed a research and development design using the ADDIE model (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*), with the implementation stage involving 35 tenth-grade students at SMAN 1 Lamongan. The resulting E-LKPD features four main components *Explorer Genius*, *Solusi Pintar*, *Grafik Insight*, and *Sains Saksi* which enhance student interactivity, analytical ability, and reflective thinking. Validation results show that the E-LKPD is categorized as highly valid (100%). Practicality is demonstrated through an implementation score of 99.42% and a student response rate of 99.06% (highly practical). The effectiveness of the E-LKPD is reflected in the improvement of scientific literacy skills, with an *N-Gain* score of 72.49% (high category). The scientific literacy indicators achieved include explaining scientific phenomena (94.28%), identifying scientific issues (95.42%), and interpreting scientific data (94.57%). In conclusion, the PjBL-based E-LKPD is feasible to use as an innovative learning medium to effectively and contextually enhance students' scientific literacy.

Keywords: E-LKPD, scientific literacy, *Project Based Learning*, conventional biotechnology

PENDAHULUAN

Pada era modern, sektor pendidikan dituntut untuk mampu merespons dinamika global sekaligus mengembangkan karakter peserta didik di lingkungan sekolah maupun masyarakat (Faizah dkk., 2024). Meskipun demikian, laporan



Programme for International Student Assessment (PISA) 2022 memperlihatkan bahwa literasi sains siswa Indonesia masih rendah, dengan skor rata-rata 383—mengalami penurunan 13 poin dari tahun 2018 dan masih berada jauh di bawah rata-rata negara OECD, yaitu 489 (OECD, 2023). Situasi ini menunjukkan bahwa kemampuan peserta didik dalam memahami konsep ilmiah dan menerapkannya pada konteks kehidupan sehari-hari masih belum optimal, terutama dalam pembelajaran biologi di SMA. Literasi sains mencakup kemampuan memahami konsep, memberikan penjelasan ilmiah, menafsirkan data, serta merancang aktivitas investigatif (Suryaningsih & Nisa, 2021). Oleh sebab itu, diperlukan model pembelajaran yang lebih kontekstual agar siswa mampu mengaitkan materi dengan situasi nyata, sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna dan dapat diterapkan secara praktis.

Salah satu model pembelajaran yang mampu meningkatkan partisipasi aktif peserta didik adalah *Project Based Learning (PjBL)*, yaitu pendekatan berbasis proyek yang menempatkan siswa sebagai pusat dalam proses pembelajaran. Melalui PjBL, peserta didik terbiasa melakukan investigasi dan menganalisis data secara mandiri (Puspitasari, 2018). Pendekatan ini juga mendorong mereka menghasilkan produk sebagai hasil belajar, sehingga literasi sains dapat berkembang lebih optimal (Syamsidah dkk., 2018). Penelitian sebelumnya membuktikan bahwa integrasi model *Project Based Learning* dalam e-LKPD efektif meningkatkan keterampilan literasi sains dan kemandirian belajar peserta didik di tingkat SMA (Sakti & Swistoro, 2021; Putri & Puspitawati, 2024).

Materi bioteknologi pangan konvensional sangat cocok diterapkan dengan *Project Based Learning* karena terkait langsung dengan kehidupan sehari-hari (Andriani & Sari, 2023). Proses fermentasi, seperti pembuatan tempe, memanfaatkan mikroorganisme untuk menghasilkan produk pangan yang bernilai gizi tinggi (Rahayu dkk., 2022). Melalui proyek praktikum sederhana, siswa dilatih merancang eksperimen, menganalisis data, dan menarik kesimpulan secara ilmiah (Wusqo, 2022). Selain meningkatkan kualitas pangan, penerapan bioteknologi konvensional juga berperan dalam menjaga kelestarian pangan tradisional agar tetap diminati masyarakat (Khairillah dkk., 2023). Namun, kenyataannya literasi sains peserta didik pada materi bioteknologi masih tergolong rendah (Suharyadi, 2021), sehingga diperlukan strategi pembelajaran yang lebih inovatif (Hasan, 2016).

Dalam konteks tersebut, media pembelajaran interaktif seperti e-LKPD (Lembar Kerja Peserta Didik Elektronik) memiliki peran yang signifikan dalam mendukung proses belajar. e-LKPD memungkinkan integrasi berbagai elemen seperti teks, gambar, video, dan QR code yang membuat pembelajaran lebih menarik dan kontekstual (Zahara dkk., 2021). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa desain e-LKPD yang menarik mampu meningkatkan motivasi dan pemahaman belajar siswa (Herianto & Indana, 2020; Puspitasari, 2019; Mahmudah, 2018). Meskipun demikian, hasil wawancara dengan guru dan peserta didik di SMAN 1 Lamongan mengindikasikan bahwa e-LKPD yang digunakan masih cenderung monoton dan memerlukan pengembangan lebih lanjut (Wulandari dkk., 2023).

Validitas Elektronik Lembar Kerja Peserta Didik

Draf e-LKPD divalidasi oleh dua validator, yaitu dosen ahli materi dan dosen ahli media menggunakan lembar validasi yang menilai beberapa aspek. Hasil rekapitulasi validasi disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Validasi E-LKPD

No	Aspek	Rata-rata (%)	Kriteria Interpretasi
1	Komponen Penyajian	4	Sangat Valid
2	Komponen Isi	4	Sangat Valid
3	Komponen Materi	4	Sangat Valid
4	Komponen Kebahasaan	4	Sangat Valid
5	Komponen Kesesuaian dengan Model <i>Project Based Learning</i>	4	Sangat Valid
6	Komponen kesesuaian LKPD untuk Melatih Keterampilan Literasi Sains	4	Sangat Valid
7	Komponen kesesuaian Fitur dengan Indikator Literasi Sains	4	Sangat Valid
Rata-rata keseluruhan aspek (%)		4	Sangat Valid

Berdasarkan **Tabel 2**, E-LKPD berbasis *Project Based Learning* pada materi Inovasi Bioteknologi Pangan Konvensional memperoleh rata-rata skor 4 pada semua aspek, termasuk kategori sangat valid, sehingga layak untuk diujicobakan.



Validasi e-LKPD dilakukan oleh dua validator, yaitu ahli media dan ahli materi. Penilaian mencakup tujuh aspek utama, yaitu penyajian, kelayakan isi, ketepatan materi, kebahasaan, kesesuaian dengan model *Project Based Learning* (PjBL), relevansi terhadap literasi sains, dan keselarasan fitur dengan indikator literasi sains. Sejalan dengan Maghfiroh dkk. (2023), bahan ajar digital sebaiknya divalidasi oleh minimal dua pakar dari bidang berbeda untuk memastikan aspek substansi dan teknis-pedagogis terpenuhi. Hal ini juga sesuai dengan Balqis dkk. (2023), yang menekankan pentingnya keterpaduan konten, media, dan pendekatan pembelajaran dalam mendukung literasi sains.

Hasil validasi menunjukkan bahwa E-LKPD memperoleh skor rata-rata 4 dan termasuk kategori sangat valid. Penelitian Shofiyullah & Lisdiana (2022) menunjukkan bahwa pengembangan E-LKPD yang tervalidasi secara menyeluruh dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa melalui literasi sains. Aspek penyajian dinilai sempurna karena produk dirancang sistematis, menarik secara visual, sesuai topik, dan waktu pembelajaran. Indikator penilaian mencakup kesesuaian materi, kejelasan tujuan, daya tarik visual, serta kelengkapan daftar pustaka. Temuan ini sejalan dengan Heriyanto (2020) yang menekankan pentingnya tampilan LKPD yang menarik untuk meningkatkan motivasi belajar, serta Sapita (2016) yang menyatakan bahwa penyajian visual yang interaktif dan proporsional dapat meningkatkan antusiasme dan keterlibatan peserta didik.

Aspek isi E-LKPD memperoleh skor rata-rata 4 dan termasuk kategori sangat valid. Hal ini menunjukkan bahwa konten telah sesuai dengan pendekatan pembelajaran yang diterapkan. Menurut Novitasari dan Puspitawati (2022), LKPD yang berkualitas bersifat mendalam, relevan, dan terkait langsung dengan konteks pembelajaran. E-LKPD ini mengintegrasikan teori dan praktik, misalnya konsep fermentasi dalam pembuatan tempe dan pemanfaatan kelapa untuk VCO. Meskipun satu indikator belum mencapai skor maksimal, penerapan PjBL pada setiap kegiatan tetap konsisten, menekankan proses konstruktivistik dengan siswa sebagai pusat pembelajaran.

Aspek materi e-LKPD memperoleh skor 4 dengan kategori sangat valid, menunjukkan seluruh indikator, termasuk keterkaitan materi dengan capaian pembelajaran, literasi sains, dan dukungan praktikum, terpenuhi. Materi difokuskan pada inovasi bioteknologi pangan konvensional dan dikaitkan dengan praktik sehari-hari, seperti pembuatan tempe kacang hijau dan *Virgin Coconut Oil* (VCO) dengan tiga metode berbeda. Kegiatan ini memperkuat pemahaman konsep sekaligus melatih siswa mengaitkan teori dengan praktik, sejalan

Oleh karena itu, pengembangan e-LKPD berbasis *Project Based Learning* (PjBL) pada materi bioteknologi pangan konvensional menjadi alternatif yang relevan. Media ini mendorong peserta didik untuk belajar secara aktif, kolaboratif, dan kreatif, sekaligus mengaitkan teori dengan praktik nyata. Melalui keterlibatan peserta didik sejak tahap perencanaan, pelaksanaan eksperimen, hingga penyusunan laporan, proses pembelajaran menjadi lebih bermakna dan sesuai dengan tuntutan abad ke-21 (Nafi, 2023). Temuan serupa juga dilaporkan oleh Cholifah dan Novita (2022), bahwa penerapan e-LKPD berbasis PjBL mampu meningkatkan literasi sains peserta didik secara signifikan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan tujuan mengembangkan media pembelajaran elektronik berupa e-LKPD pada materi Inovasi Bioteknologi Pangan Konvensional. Populasi penelitian terdiri dari 35 siswa kelas X di SMAN 1 Lamongan pada tahun ajaran 2024/2025.

Penelitian ini mengkaji tiga variabel, yaitu validitas, kepraktisan, dan keefektifan e-LKPD. Validitas e-LKPD ditentukan berdasarkan penyajian, isi materi, kebahasaan, kesesuaian dengan model *Project Based Learning*, kemampuan e-LKPD dalam melatih keterampilan literasi sains, serta kesesuaian fitur dengan indikator literasi sains menurut OECD (2023) yaitu mengidentifikasi isu atau pertanyaan ilmiah, menjelaskan fenomena secara ilmiah, menginterpretasikan data dan bukti ilmiah, dan mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah melalui lembar validasi. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan skala *Likert*, dengan perhitungan rata-rata berdasarkan rumus:

$$\text{Validitas E-LKPD (\%)} = \frac{\sum \text{skor yang diperoleh}}{\sum \text{skor maksimal}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan yang telah diperoleh kemudian dikelompokkan. Adapun kriteria validitas menurut Riduwan (2016), dikatakan valid apabila validitas LKPD mencapai 75%. Kepraktisan LKPD ditinjau melalui keterlaksanaan LKPD dan respon peserta didik terhadap produk. Adapun keterlaksanaan LKPD diperoleh dengan Lembar observasi keterlaksanaan LKPD oleh observer. Data yang dihasilkan kemudian dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Keterlaksanaan (\%)} = \frac{\sum \text{skor yang diperoleh}}{\sum \text{skor maksimal}} \times 100\%$$

Hasil dikatakan praktis apabila keterlaksanaan e-LKPD berbasis *Project Based Learning* mencapai 75%. Respon peserta didik diperoleh melalui lembar angket yang dibagikan untuk menilai pengalaman mereka menggunakan e-LKPD.



Jawaban pada angket diberikan dalam bentuk ceklis “ya” atau “tidak” dan diukur menggunakan skala *Guttman*. Selanjutnya, rata-rata respon dihitung dengan rumus:

$$\text{Persentase aspek} = \frac{\text{Jumlah Siswa yang menjawab "Ya"}}{\text{Jumlah seluruh siswa}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan digunakan untuk menentukan kriteria kepraktisan, di mana e-LKPD berbasis *Project Based Learning* dianggap praktis apabila respon peserta didik mencapai 75%. Keefektifan e-LKPD ditinjau dari pencapaian keterampilan berpikir kritis, yang diukur melalui selisih skor *pretest* dan *posttest* menggunakan lembar tes. Tingkat ketercapaian indikator dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\langle g \rangle = \frac{\text{Posttest} - \text{Pretest}}{100 - \text{skor akhir pretest}} \times 100 \%$$

Skor yang diperoleh pada perhitungan menggunakan rumus diatas, kemudian diinterpretasikan untuk mengetahui kriteria ketercapaian keterampilan literasi sains. LKPD dikatakan efektif apabila hasil ketercapaian literasi sains mencapai 50%.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Penelitian pengembangan ini berhasil menghasilkan e-LKPD berbasis *Project Based Learning* pada materi inovasi bioteknologi pangan konvensional untuk meningkatkan literasi sains siswa kelas X. Produk dinyatakan valid dan praktis berdasarkan penilaian ahli, angket keterlaksanaan, respons peserta didik, serta hasil *pretest-posttest* yang menunjukkan keefektifan pembelajaran.

Hasil Pengembangan E-LKPD

Produk yang dikembangkan berupa E-LKPD berbasis *Project Based Learning* untuk materi inovasi bioteknologi pangan konvensional dengan tujuan meningkatkan literasi sains siswa kelas X. E-LKPD ini telah dinilai valid, praktis, dan efektif, dengan struktur meliputi kata pengantar, daftar isi, petunjuk penggunaan, pemetaan sintaks PjBL, indikator literasi sains, deskripsi fitur, capaian dan tujuan pembelajaran, materi, serta daftar pustaka. Produk tersedia secara daring dan dapat diakses melalui smartphone, laptop, tablet, atau komputer. Desain dibuat menggunakan *Canva*, disimpan dalam format PDF, dan diintegrasikan ke *Liveworksheets* untuk menambahkan fitur interaktif serta kolom jawaban, dengan beberapa link akses seperti: <https://www.liveworksheets.com/worksheet/id/science-biology/8187284>, <https://www.liveworksheets.com/worksheet/id/science-biology/8187293>, <https://www.liveworksheets.com/worksheet/id/science-biology/8187296>

Pengguna dapat mengetik jawaban langsung, menyesuaikan tampilan, dan mengakses hyperlink ke situs pendukung. E-LKPD dilengkapi gambar dan video untuk memperkaya pemahaman materi, mencakup satu topik utama dengan dua praktikum pembuatan tempe kacang hijau dan *Virgin Coconut Oil (VCO)* serta empat fitur pembelajaran utama: *Explorer Genius*, *Solusi Pintar*, *Grafik Insight*, dan *Sains Saksi*, yang dijelaskan lebih lanjut pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Fitur-fitur E-LKPD

No	Tampilan Fitur	Deskripsi
1	 <p>Explorer Genius</p>	Fitur ini membantu peserta didik belajar merumuskan pertanyaan mendasar yang relevan dan menjelajahi berbagai sumber informasi untuk mengidentifikasi isu atau fenomena ilmiah yang menarik
2	 <p>Solusi Pintar</p>	Fitur ini memungkinkan peserta didik merancang rencana proyek yang rinci, termasuk metode pengumpulan data, alat, bahan, langkah eksperimen, dan jadwal realistis dengan tenggat waktu, membantu pengelolaan waktu efektif dan memastikan hasil valid

No	Tampilan Fitur	Deskripsi
----	----------------	-----------



3



**Grafik
Insight**

Fitur ini membantu memantau kemajuan proyek melalui data seperti grafik/tabel untuk melacak perkembangan dan mengidentifikasi. Memungkinkan analisis data, menemukan pola, dan menarik kesimpulan berdasarkan bukti ilmiah

4



Sains Saksi

Fitur ini membantu peserta didik merefleksikan pengalaman proyek, menjelaskan fenomena ilmiah yang diselidiki, menerapkan konsep sains, dan mengevaluasi proses penelitian, serta memberikan saran perbaikan.

Validitas Elektronik Lembar Kerja Peserta Didik

Draf e-LKPD divalidasi oleh dua validator, yaitu dosen ahli materi dan dosen ahli media menggunakan lembar validasi yang menilai beberapa aspek. Hasil rekapitulasi validasi disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Validasi E-LKPD

No	Aspek	Rata-rata (%)	Kriteria Interpretasi
1	Komponen Penyajian	4	Sangat Valid
2	Komponen Isi	4	Sangat Valid
3	Komponen Materi	4	Sangat Valid
4	Komponen Kebahasaan	4	Sangat Valid
5	Komponen Kesesuaian dengan Model <i>Project Based Learning</i>	4	Sangat Valid
6	Komponen kesesuaian LKPD untuk Melatih Keterampilan Literasi Sains	4	Sangat Valid
7	Komponen kesesuaian Fitur dengan Indikator Literasi Sains	4	Sangat Valid
Rata-rata keseluruhan aspek (%)		4	Sangat Valid

Berdasarkan **Tabel 2**, E-LKPD berbasis *Project Based Learning* pada materi Inovasi Bioteknologi Pangan Konvensional memperoleh rata-rata skor 4 pada semua aspek, termasuk kategori sangat valid, sehingga layak untuk diujicobakan.

Validasi e-LKPD dilakukan oleh dua validator, yaitu ahli media dan ahli materi. Penilaian mencakup tujuh aspek utama, yaitu penyajian, kelayakan isi, ketepatan materi, kebahasaan, kesesuaian dengan model *Project Based Learning* (PjBL), relevansi terhadap literasi sains, dan keselarasan fitur dengan indikator literasi sains. Sejalan dengan Maghfiroh dkk. (2023), bahan ajar digital sebaiknya divalidasi oleh minimal dua pakar dari bidang berbeda untuk memastikan aspek substansi dan teknis-pedagogis terpenuhi. Hal ini juga sesuai dengan Balqis dkk. (2023), yang menekankan pentingnya keterpaduan konten, media, dan pendekatan pembelajaran dalam mendukung literasi sains.

Hasil validasi menunjukkan bahwa E-LKPD memperoleh skor rata-rata 4 dan termasuk kategori sangat valid. Penelitian Shofiyullah & Lisdiana (2022) menunjukkan bahwa pengembangan E-LKPD yang tervalidasi secara menyeluruh dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa melalui literasi sains. Aspek penyajian dinilai sempurna karena produk dirancang sistematis, menarik secara visual, sesuai topik, dan waktu pembelajaran. Indikator penilaian mencakup kesesuaian materi, kejelasan tujuan, daya tarik visual, serta kelengkapan daftar pustaka. Temuan ini sejalan dengan Heriyanto (2020) yang menekankan pentingnya tampilan LKPD yang menarik untuk meningkatkan motivasi belajar, serta Sapita (2016) yang menyatakan bahwa penyajian visual yang interaktif dan proporsional dapat meningkatkan antusiasme dan keterlibatan peserta didik.

Aspek isi E-LKPD memperoleh skor rata-rata 4 dan termasuk kategori sangat valid. Hal ini menunjukkan bahwa konten telah sesuai dengan pendekatan pembelajaran yang diterapkan. Menurut Novitasari dan Puspitawati (2022), LKPD



yang berkualitas bersifat mendalam, relevan, dan terkait langsung dengan konteks pembelajaran. E-LKPD ini mengintegrasikan teori dan praktik, misalnya konsep fermentasi dalam pembuatan tempe dan pemanfaatan kelapa untuk VCO. Meskipun satu indikator belum mencapai skor maksimal, penerapan PjBL pada setiap kegiatan tetap konsisten, menekankan proses konstruktivistik dengan siswa sebagai pusat pembelajaran.

Aspek materi e-LKPD memperoleh skor 4 dengan kategori sangat valid, menunjukkan seluruh indikator, termasuk keterkaitan materi dengan capaian pembelajaran, literasi sains, dan dukungan praktikum, terpenuhi. Materi difokuskan pada inovasi bioteknologi pangan konvensional dan dikaitkan dengan praktik sehari-hari, seperti pembuatan tempe kacang hijau dan *Virgin Coconut Oil (VCO)* dengan tiga metode berbeda. Kegiatan ini memperkuat pemahaman konsep sekaligus melatih siswa mengaitkan teori dengan praktik, sejalan dengan temuan Jannah dkk. (2024) bahwa materi bioteknologi berbasis proyek meningkatkan keterlibatan dan pemahaman aplikatif peserta didik.

Aspek kebahasaan e-LKPD memperoleh skor 4 dengan kategori sangat valid. Penilaian mencakup kemudahan bahasa, ketepatan istilah, penulisan nama ilmiah, dan kejelasan kalimat. Bahasa yang digunakan komunikatif dan telah sesuai dengan kaidah EYD serta PUEBI. Prastowo (2015) menekankan bahwa penggunaan bahasa yang tepat mencegah multiinterpretasi dan memudahkan pemahaman siswa, sementara Ahmadi dkk. (2018) menyatakan bahwa kalimat yang jelas, ringkas, dan tidak ambigu merupakan indikator utama kevalidan bahasa dalam media pembelajaran.

Aspek kesesuaian E-LKPD dengan model *Project Based Learning (PjBL)* memperoleh skor 4 dan tergolong sangat valid karena seluruh indikator telah tersusun lengkap dan sistematis, mulai dari analisis masalah hingga evaluasi pembelajaran. Penerapan sintaks PjBL pada materi inovasi bioteknologi pangan konvensional tampak melalui tahapan identifikasi masalah, perencanaan, pelaksanaan praktikum tempe kacang hijau dan VCO, pengolahan data, hingga presentasi hasil. Sejalan dengan Jannah dkk. (2024), penerapan sintaks PjBL secara menyeluruh penting untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis, kreatif, dan kolaboratif, sehingga E-LKPD ini tidak hanya valid secara struktural, tetapi juga memberikan pengalaman belajar yang bermakna serta relevan dengan keterampilan abad ke-21.

Aspek kesesuaian E-LKPD dalam melatih literasi sains memperoleh skor 4 dan tergolong sangat valid. Melalui aktivitas observasi, eksperimen, analisis data, dan presentasi proyek, peserta didik tidak hanya memahami konsep bioteknologi pangan konvensional, tetapi juga mampu menerapkannya secara ilmiah. Praktikum pembuatan tempe kacang hijau dan VCO melatih kemampuan mengamati, mengidentifikasi variabel, serta menarik kesimpulan berbasis bukti. Sejalan dengan Ramadhani dkk. (2023), LKPD berbasis literasi sains harus mendorong siswa menyusun argumen berdasarkan bukti dan menjelaskan fenomena ilmiah secara logis.

Aspek komponen fitur dalam E-LKPD, seperti *Explorer Genius, Solusi Pintar, Grafik Insight, dan Sains Saksi*, memperoleh skor 4 dan tergolong sangat valid karena mendukung kemampuan literasi sains, mulai dari identifikasi masalah hingga penjelasan fenomena. Fitur-fitur ini tidak hanya memperindah tampilan digital, tetapi juga berfungsi sebagai media interaktif yang mendorong peserta didik aktif mengeksplorasi konsep bioteknologi pangan konvensional. Sesuai dengan Wulandari dan Suparmi (2021), fitur digital berbasis indikator literasi sains mampu meningkatkan keterlibatan dan pola pikir berbasis bukti, sehingga memperkuat fungsi instruksional serta menciptakan pembelajaran yang kontekstual dan bermakna.

Hasil validasi menunjukkan bahwa seluruh aspek E-LKPD memperoleh skor 4 dan termasuk sangat valid, sehingga layak digunakan sebagai media pembelajaran biologi berbasis *Project Based Learning (PjBL)*. Temuan ini sejalan dengan Sari dkk. (2021), yang menyatakan bahwa perangkat ajar dengan validitas tinggi dari sisi isi, bahasa, penyajian, dan kesesuaian pendekatan mendukung pencapaian kompetensi abad ke-21, khususnya literasi sains. Selain itu, pengembangan E-LKPD ini sesuai dengan prinsip konstruktivisme yang menekankan keterlibatan aktif siswa dalam membangun pengetahuan melalui pengalaman langsung dan reflektif (Hidayat & Nugroho, 2021), sehingga memiliki potensi meningkatkan literasi sains secara kontekstual, aplikatif, dan bermakna.

Kepraktisan Elektronik Lembar Kerja Peserta Didik

Kepraktisan e-LKPD berbasis *Project Based Learning (PjBL)* dianalisis melalui dua komponen utama, yaitu keterlaksanaan pembelajaran dan respon peserta didik. Penilaian ini bertujuan menilai sejauh mana e-LKPD dapat digunakan secara efektif dan efisien oleh guru dan peserta didik dalam pembelajaran bioteknologi pangan konvensional. Data keterlaksanaan diperoleh melalui observasi oleh tiga pengamat, sedangkan data respons siswa dikumpulkan melalui angket setelah pembelajaran.

Selama uji coba, pembelajaran dilakukan dalam dua pertemuan masing-masing 2×45 menit, melibatkan 35 peserta didik kelas X SMAN 1 Lamongan. Siswa aktif dalam seluruh tahap proyek, mulai dari perancangan ide, eksperimen fermentasi pangan, hingga penyusunan laporan. Antusiasme peserta tinggi karena E-LKPD interaktif dan memadukan



fitur multimedia seperti video, artikel ilmiah, dan QR code. Hal ini menunjukkan E-LKPD efektif meningkatkan partisipasi siswa dan mendukung pembelajaran berbasis proyek, sesuai dengan prinsip media pembelajaran praktis yang efisien dan mudah digunakan (Setiawan & Pratiwi, 2021).

Keterlaksanaan e-LKPD dinilai melalui observasi aktivitas peserta didik selama pembelajaran oleh tiga pengamat menggunakan instrumen khusus. Hasil rekapitulasi observasi disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Observasi Keterlaksanaan E-LKPD

No	Aktivitas E-LKPD	Rata-rata (%)	Kriteria Interpretasi
1	Peserta didik mengamati berbagai macam permasalahan di e-LKPD	100	Sangat Praktis
2	Peserta didik mengidentifikasi masalah autentik yang ada di lingkungan sekitar	100	Sangat Praktis
3	Peserta didik membuat pernyataan atau merumuskan alternatif pemecahan masalah	100	Sangat Praktis
4	Peserta didik membuat perancangan kegiatan proyek	100	Sangat Praktis
5	Peserta didik melakukan pengumpulan data	100	Sangat Praktis
6	Peserta didik mengasosiasikan data hasil pengamatan untuk memantau proyek dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan dalam e-LKPD	100	Sangat Praktis
7	Peserta didik mem-presentasikan hasil diskusi di depan kelas	100	Sangat Praktis
8	Peserta didik membuat kesimpulan data pengamatan	97,14	Sangat Praktis
9	Peserta didik menyajikan data hasil proyek	100	Sangat Praktis
10	Peserta didik mengevaluasi hasil kerja proyek	97,14	Sangat Praktis
Rata-rata		99,42	Sangat Praktis

Hasil observasi pada **Tabel 3** menunjukkan bahwa E-LKPD terlaksana dengan rata-rata 99,42%, termasuk kategori sangat praktis. Dari sepuluh aktivitas, delapan memperoleh skor 100%, sedangkan menyusun kesimpulan dan evaluasi proyek masing-masing 97,14%. Hal ini menegaskan bahwa seluruh sintaks PjBL, mulai dari identifikasi masalah, perencanaan dan pelaksanaan praktikum tempe kacang hijau serta VCO, hingga presentasi dan evaluasi, terlaksana secara konsisten.

E-LKPD berperan tidak hanya sebagai bahan ajar digital, tetapi juga sebagai panduan proyek yang membimbing siswa pada setiap tahap kegiatan ilmiah. Kendala dalam penyusunan kesimpulan akibat keterbatasan waktu dan pengalaman diatasi melalui bimbingan guru serta sumber belajar tambahan. Hal ini menunjukkan bahwa e-LKPD berbasis PjBL praktis, efektif, dan mendukung pembelajaran aktif, kolaboratif, serta literasi sains. Kepraktisan juga dinilai melalui angket respons 35 peserta didik kelas X SMAN 1 Lamongan, mencakup aspek isi, penyajian, dan kebahasaan, dengan hasil disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Respon Peserta Didik

No	Aspek	Rata-rata (%)	Kriteria Interpretasi
1	Kelayakan Isi E-LKPD Berbasis <i>Project Based Learning</i> Materi Bioteknologi Pangan Konvensional	98,86	Sangat Praktis
2	Kelayakan Penyajian E-LKPD	99,28	Sangat Praktis
3	Kelayakan Kebahasaan E-LKPD	99,05	Sangat Praktis
Rata-rata keseluruhan aspek (%)		99,06	Sangat Praktis

Berdasarkan **Tabel 4**, respon peserta didik terhadap e-LKPD sangat positif dengan rata-rata 99,06%, termasuk kategori sangat praktis. Penilaian mencakup kelayakan isi, kualitas penyajian, dan aspek kebahasaan.

Aspek kelayakan isi E-LKPD memperoleh skor rata-rata 98,86% dan tergolong sangat praktis, karena kontennya dinilai relevan, interaktif, dan mendorong keterlibatan aktif siswa dalam proyek ilmiah seperti pembuatan tempe kacang hijau dan VCO. Fitur *Explorer Genius*, *Solusi Pintar*, *Grafik Insight*, dan *Sains Saksi* membantu siswa memahami konsep, merancang penyelidikan, serta menafsirkan data secara ilmiah. Peserta didik menilai isi E-LKPD menarik dan kontekstual, membuat pembelajaran lebih bermakna. Temuan ini sejalan dengan Prasetyo dan Lestari (2021) yang



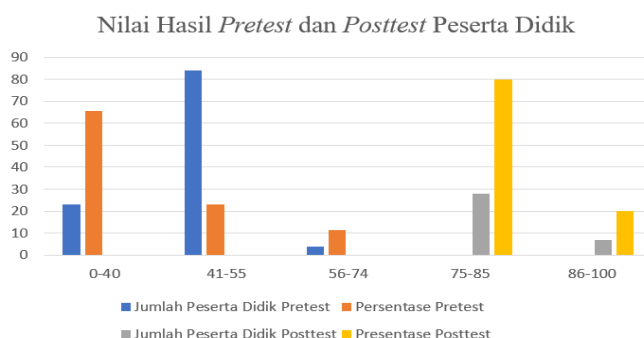
menyebut bahwa pendekatan berbasis proyek mampu meningkatkan literasi sains serta keterampilan berpikir kritis dan kreatif.

Aspek penyajian E-LKPD memperoleh skor 99,28% dan tergolong sangat praktis karena tampilannya menarik, sistematis, dan mudah diakses melalui *smartphone* maupun PC. Cover dengan empat fitur unggulan serta ilustrasi tempe kacang hijau dan VCO memperjelas kegiatan pembelajaran, didukung tata letak rapi, warna kontras, dan navigasi fitur yang mudah digunakan. Meski beberapa gambar perlu penyesuaian ukuran dan resolusi, tampilan visual tetap efektif meningkatkan pemahaman konsep ilmiah dan motivasi belajar. Hal ini sejalan dengan Ramadhani dkk. (2023) yang menegaskan bahwa kualitas tampilan digital berpengaruh terhadap kenyamanan dan efektivitas pembelajaran berbasis proyek serta literasi sains. Aspek kebahasaan E-LKPD memperoleh skor rata-rata 99,05%, menandakan penggunaan bahasa yang komunikatif, jelas, dan sesuai dengan tingkat kognitif siswa SMA, meskipun beberapa istilah ilmiah seperti *Rhizopus* dan *Virgin Coconut Oil* masih perlu penyederhanaan. Temuan ini sejalan dengan Kurniawan dan Zabeta (2025), yang menyebut media digital interaktif membantu memahami konsep ilmiah kompleks melalui kombinasi visual dan bahasa yang mudah dipahami. Peserta didik menilai E-LKPD menarik dan mudah digunakan, dengan saran untuk menyederhanakan teks serta menambah ilustrasi atau infografik sebagai bahan pengembangan lebih lanjut.

Berdasarkan **Tabel 3.** dan **4.** hasil observasi keterlaksanaan dan respons peserta didik menunjukkan bahwa E-LKPD berbasis *Project Based Learning* tergolong sangat praktis, dengan rata-rata keterlaksanaan 99,42% dan respons 99,06%. Temuan menunjukkan bahwa E-LKPD efektif sebagai media pembelajaran untuk meningkatkan literasi sains pada materi bioteknologi pangan konvensional. Tingginya kepraktisan mencerminkan keberhasilan integrasi sintaks PjBL dengan fitur digital, sehingga pembelajaran menjadi lebih interaktif, mendorong berpikir ilmiah, partisipasi aktif, dan pemecahan masalah berdasarkan situasi nyata. Setelah validitas dan kepraktisan terkonfirmasi, langkah berikutnya adalah mengevaluasi efektivitas E-LKPD melalui capaian hasil belajar siswa.

Keefektifan Elektronik Lembar Kerja Peserta Didik

Efektivitas e-LKPD berbasis *Project Based Learning* dinilai melalui peningkatan keterampilan literasi sains peserta didik. Penilaian dilakukan dengan membandingkan hasil *pretest* dan *posttest*, menghitung skor *N-Gain*, serta mengevaluasi pencapaian empat indikator literasi sains: (1) kemampuan mengidentifikasi isu atau pertanyaan ilmiah, (2) menjelaskan fenomena secara ilmiah, (3) menginterpretasikan data dan bukti ilmiah, dan (4) mengevaluasi serta merancang penyelidikan ilmiah. Data *pretest* yang menggambarkan kemampuan awal peserta didik akan disajikan pada **Gambar 1.**, yang kemudian dihitung menggunakan rumus dan dianalisis untuk melihat peningkatan setelah penggunaan e-LKPD.



Gambar 1. Hasil Nilai *Pretest* dan *Posttest* Peserta Didik

Berdasarkan **Gambar 1.** rata-rata nilai *pretest* peserta didik adalah 36,17 yang termasuk dalam kategori belum tuntas, dengan nilai tertinggi 64 dan terendah 0. Setelah pembelajaran menggunakan E-LKPD, rata-rata nilai *posttest* meningkat menjadi 83,11, masuk kategori tuntas, dengan nilai tertinggi 100 dan terendah 75.

Efektivitas E-LKPD dinilai melalui peningkatan literasi sains siswa dengan membandingkan *pretest*, *posttest*, dan skor *N-Gain* pada setiap indikator literasi sains. Hasil *pretest* menunjukkan rata-rata 36,17, dengan seluruh peserta belum mencapai ketuntasan ($KKM \geq 75$), nilai tertinggi 64 dan terendah 0, mengindikasikan pemahaman awal siswa terhadap inovasi bioteknologi konvensional masih rendah, khususnya dalam berpikir ilmiah. Observasi dan diskusi dengan guru menunjukkan adanya perubahan perilaku belajar: siswa lebih aktif berdiskusi,



mengajukan pertanyaan ilmiah relevan, menunjukkan rasa ingin tahu tinggi, serta mampu bekerja mandiri dalam mengatur waktu dan pembagian tugas kelompok. Temuan ini sejalan dengan hasil *posttest* yang menampilkan peningkatan signifikan pada kemampuan berpikir ilmiah dan literasi sains setelah menggunakan E-LKPD berbasis *Project Based Learning*.

Setelah melalui *pretest* dan *posttest*, selanjutnya diukur peningkatan literasi sains menggunakan *N-Gain* yang dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Peningkatan Literasi Sains menggunakan *N-Gain*

Nilai	Pretest	Posttest	Peningkatan (%)
Tertinggi	64	100	100
Terendah	0	75	55,75
Rata-rata	37,9	83,3	72,49

Berdasarkan **Tabel 5**, penerapan E-LKPD berbasis *Project Based Learning* (PjBL) terbukti efektif meningkatkan hasil belajar dan literasi sains. Rata-rata nilai *posttest* mencapai 83,11% dengan seluruh siswa tuntas, menunjukkan penguasaan konsep dan keterampilan ilmiah yang baik. Peserta didik mampu mengidentifikasi isu tempe dan VCO, merancang penyelidikan ilmiah, melakukan praktikum dengan tiga metode, menginterpretasikan data, berdiskusi antar kelompok, serta menjelaskan fenomena dan menyelesaikan evaluasi. Analisis *N-Gain* menunjukkan peningkatan rata-rata 72,49% (kategori tinggi), dengan 77% siswa berada pada kategori peningkatan tinggi dan sisanya pada kategori sedang. Hal ini menegaskan bahwa E-LKPD berkontribusi signifikan terhadap peningkatan literasi sains dan hasil belajar peserta didik.

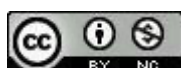
Meskipun *N-Gain* menunjukkan peningkatan kuantitatif, hal ini tidak cukup untuk menilai efektivitas pembelajaran secara menyeluruh. Efektivitas juga harus dilihat dari pencapaian indikator literasi sains dan tujuan pembelajaran. Oleh karena itu, analisis dilanjutkan berdasarkan kemampuan peserta didik dalam mengidentifikasi isu bioteknologi, menjelaskan konsep ilmiah, menafsirkan data eksperimen, serta merancang dan mengevaluasi penyelidikan ilmiah sederhana melalui kegiatan E-LKPD. Hasil ketercapaian masing-masing indikator literasi sains dapat dilihat melalui **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Ketercapaian Indikator Literasi Sains

No	Indikator Literasi Sains	Butir Soal Ke-	Rata-rata setiap soal (%)	Rata-rata setiap indikator (%)	Kriteria Interpretasi
1	Menjelaskan fenomena secara ilmiah	1	93,14	94,28	Sangat Baik
		3	94,57		Sangat Baik
		6	96,57		Sangat Baik
		8	92,85		Sangat Baik
2	Meng-identifikasi isu atau pertanyaan ilmiah	2	94,28	95,42	Sangat Baik
		7	96,57		Sangat Baik
3	Meng-interpretasi-kan data dan bukti ilmiah	4	93,14	94,57	Sangat Baik
		9	96		Sangat Baik
4	Meng-evaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah	5	62,47	63,13	Cukup Baik
		10	63,80		Cukup Baik
Rata-rata Keseluruhan (%)			88,34	86,85	Sangat Baik

Berdasarkan **Tabel 6**, analisis ketercapaian indikator literasi sains menunjukkan hasil sangat baik. Pertama, kemampuan menjelaskan fenomena secara ilmiah mencapai 94,28%, yang menandakan siswa mampu mengaitkan konsep bioteknologi dengan proses fermentasi kacang hijau menjadi tempe maupun pengolahan VCO secara enzimatik. Kedua, kemampuan mengidentifikasi isu atau pertanyaan ilmiah sebesar 95,42% menunjukkan peserta didik mampu merumuskan masalah yang relevan dengan konteks praktikum. Ketiga, kemampuan menginterpretasikan data dan bukti ilmiah mencapai 94,57%, yang mencerminkan keterampilan menganalisis hasil percobaan dan menarik kesimpulan secara sistematis. Fitur *Grafik Insight* dalam E-LKPD terbukti membantu siswa mengorganisasi data dan menulis kesimpulan ilmiah, sehingga secara keseluruhan peserta didik mampu memahami konsep bioteknologi konvensional dan menafsirkan data percobaan dengan matang.

Meskipun demikian, indikator merancang dan mengevaluasi penyelidikan ilmiah hanya mencapai rata-rata 63,13%, tergolong cukup baik. Rendahnya capaian ini disebabkan keterbatasan pengalaman peserta didik dalam merancang



eksperimen mandiri dan waktu pembelajaran yang terbatas. Siswa cenderung terburu-buru dan kurang terbiasa melakukan praktikum biologi pangan konvensional, sehingga kemampuan eksploratif dan evaluatif belum optimal. Hal ini menunjukkan perlunya perluasan kegiatan investigasi, pendampingan lebih intensif, serta latihan berulang agar keterampilan merancang dan mengevaluasi eksperimen berbasis data dapat berkembang secara maksimal.

Hasil analisis juga menunjukkan bahwa capaian setiap indikator sejalan dengan tujuan pembelajaran bioteknologi konvensional, yang menekankan pemahaman konsep sekaligus penerapan metode ilmiah. Dengan demikian, efektivitas E-LKPD tidak hanya dilihat dari peningkatan skor *posttest*, tetapi juga dari pencapaian kompetensi dasar dan tujuan pembelajaran sesuai Kurikulum Merdeka.

Keefektifan E-LKPD didukung oleh desain pembelajaran yang mengikuti sintaks *Project Based Learning*, mencakup penentuan pertanyaan, perancangan proyek, pemantauan, penilaian, dan refleksi. Fitur *Explorer Genius*, *Solusi Pintar*, *Grafik Insight*, dan *Sains Saksi* mendorong siswa aktif mengeksplorasi informasi, menganalisis data, dan merefleksikan pengalaman belajar agar konsep biologi lebih kontekstual dan bermakna. Seluruh kegiatan dan soal dalam E-LKPD telah selaras dengan tujuan pembelajaran bioteknologi konvensional yang menekankan pemahaman konsep, penerapan metode ilmiah, dan penguatan sikap ilmiah. *Explorer Genius* membantu siswa mengkaji artikel dan video kontekstual, *Sains Saksi* mendukung analisis fenomena fermentasi serta dampak bioteknologi pangan, *Grafik Insight* melatih interpretasi data ilmiah, dan *Solusi Pintar* memfasilitasi perancangan serta evaluasi eksperimen. Secara keseluruhan, E-LKPD berbasis *Project Based Learning* efektif meningkatkan kemampuan kognitif, psikomotorik, dan afektif sekaligus mengintegrasikan literasi sains abad ke-21 dengan tujuan pembelajaran bioteknologi konvensional.

E-LKPD ini unggul karena menyajikan kegiatan kontekstual dan aplikatif, dilengkapi fitur interaktif, menerapkan sintaks PjBL lengkap, dan meningkatkan keterlibatan siswa. Beberapa aspek perlu perbaikan, seperti pendampingan perancangan penyelidikan, penyederhanaan istilah ilmiah, dan perpanjangan waktu proyek. Fitur *Explorer Genius*, *Sains Saksi*, *Solusi Pintar*, dan *Grafik Insight* memandu siswa mengenali masalah, merancang solusi, serta menguji dan menganalisis data secara ilmiah, sehingga proyek menjadi terukur dan berbasis bukti.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-LKPD berbasis *Project Based Learning* mampu meningkatkan literasi sains peserta didik pada materi bioteknologi konvensional. Temuan ini sejalan dengan Gusnita dkk. (2020) serta Astuti dkk. (2016), yang menegaskan bahwa PjBL dapat mendorong keterlibatan aktif siswa sekaligus mengembangkan keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis dan reflektif. E-LKPD yang dihasilkan juga terbukti memiliki tingkat validitas, kepraktisan, dan keefektifan yang tinggi, sehingga dapat diimplementasikan dalam pembelajaran biologi untuk mendukung penguatan literasi sains, kemampuan kolaboratif, dan kreativitas peserta didik.

PENUTUP

Simpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa e-LKPD berbasis *Project Based Learning* pada materi Inovasi Bioteknologi Pangan Konvensional valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan literasi sains siswa kelas X. Validitas ditunjukkan dengan skor 88,33%, kepraktisan melalui keterlaksanaan 99,42% dan respons siswa 99,06%, serta keefektifan melalui peningkatan rata-rata nilai *posttest* 83,11 dengan *N-Gain* 72,49% kategori tinggi. Dengan demikian, e-LKPD ini layak digunakan sebagai media pembelajaran inovatif abad ke-21 yang mendukung literasi sains dan kemandirian belajar siswa.

Saran

Peneliti menyarankan pengembangan E-LKPD pada materi Biologi lain, penyesuaian bahasa dan visualisasi agar lebih komunikatif, serta pelatihan bagi guru untuk mengoptimalkan penerapan sintaks *Project Based Learning*.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Dr. Ulfi Faizah, S.Pd., M.Si., dan Lisa Lisdiana, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku validator. Dra. Ermin Rustinawati, M. Pd selaku Guru Biologi SMAN 1 Lamongan serta peserta didik kelas X-2 SMAN 1 Lamongan yang telah berkontribusi dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmadi, A., Santoso, B., & Lestari, C. (2018). Penggunaan Media Digital untuk Meningkatkan Literasi Sains di SMA. *Jurnal Pendidikan IPA*, 6(2), 123–131



- Andriani, F., & Sari, D. (2023). Pengembangan E-LKPD Berbasis Literasi Sains pada Materi Bioteknologi. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 9(2), 155–164.
- Astuti, V., Widodo, W., & Kuswanti, N. (2016). Penerapan Model Pembelajaran Berbasis Proyek untuk Melatihkan Keterampilan Komunikasi Siswa pada Materi Sistem Peredaran Darah pada Manusia. *Pendidikan Sains*, 4(3), 1–7.
- Balqis, S., Hidayat, R., & Putri, A. (2023). Keterpaduan Konten dan Media Digital dalam Pengembangan Bahan Ajar. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 11(1), 45–54.
- Faizah, U., Susantini, E., Prastiwi, M. S., Raharjo, R., Indana, S., Kuswanti, N., & Ali, M. (2024). *Profile of potential prospective biology teachers designing SDGs-Based Teaching Modules on learning planning courses to realize quality education*. Dalam *E3S Web of Conferences* (Vol. 568, hlm. 04025). EDP Sciences.
- Cholifah, N., & Novita, E. (2022). Pengembangan LKPD Berbasis *Project Based Learning* untuk Meningkatkan Keterampilan Abad 21. *Jurnal Pendidikan Sains*, 10(1), 45–53.
- Gusnita, A., Pane, F. H., & Fitri, R. (2020). Pembelajaran Proyek dan Literasi Sains: Studi Implementasi di SMA. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan IPA*, 2(1), 98–105.
- Hidayat, T., & Nugroho, I. (2021). Konstruktivisme dan Desain Perangkat Ajar Digital untuk Abad ke-21. *Jurnal Pendidikan*, 12(2), 77–86.
- Hasan, R. (2016). Literasi Sains dalam Pendidikan Indonesia. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 5(2), 123–130.
- Herianto, H., & Indana, S. (2020). Pengaruh Model *Project Based Learning* Berbantuan E-LKPD terhadap Hasil Belajar Biologi Siswa SMA. *BioEdu: Journal of Biology Education*, 9(3), 567–573.
- Jannah, I., Prasetyo, D., & Ramadhan, M. (2024). Aplikasi Materi Bioteknologi Berbasis Proyek: Implikasi Pembelajaran Kontekstual. *Jurnal Inovasi Pendidikan*, 1(1), 12–20.
- Khairillah, N., Mawaddah, N., & Nurhafizah, R. (2023). Analisis Kebutuhan Pengembangan E-LKPD Biologi Berbasis Literasi Sains. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 15(1), 89–98.
- Maghfiroh, L., Rini, S., & Oktaviani, D. (2023). Validasi Bahan Ajar Digital oleh Ahli: Kebutuhan Lintas Bidang. *Jurnal Pendidikan Digital*, 3(1), 34–42.
- Mahmudah, N. (2018). Literasi Sains Peserta Didik SMA melalui Pembelajaran Berbasis Proyek. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan IPA*, 3(1), 201–207.
- Nafi, A. (2023). E-LKPD Berbasis Digital untuk Meningkatkan Literasi Sains Siswa SMA. *Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*, 14(2), 211–220.
- Novitasari, F., & Puspitawati, R. P. (2022). Pengembangan E-LKPD Berbasis *Problem Solving* pada Materi Pertumbuhan dan Perkembangan untuk Melatihkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMA. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Biologi*, 3(1), 45–54.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). (2023). *PISA 2022 results: Learning during and from disruption (Volume I)*. OECD Publishing.
- Prasetyo, B., & Lestari, F. (2021). Efektivitas PjBL dalam Pengembangan Keterampilan Berpikir Ilmiah. *Jurnal Pembelajaran IPA*, 7(3), 201–210.
- Prastowo, A. (2015). *Teknik Penyusunan Perangkat Pembelajaran Berbasis Kompetensi*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Pratama, R., & Arifin, H. (2022). Bahasa dalam Media Pembelajaran Digital: Implikasi Pemahaman Konsep. *Jurnal Teknologi Pembelajaran*, 8(1), 59–67.

- Puspitasari, D. (2018). Pengembangan LKS Berbasis *Project Based Learning* pada Materi Bioteknologi. *BioEdu: Journal of Biology Education*, 7(2), 345–351.
- Puspitasari, D. (2019). Penerapan E-LKPD Interaktif untuk Meningkatkan Keterampilan Literasi Sains Siswa. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 8(1), 77–85.
- Putri, F. R., & Puspitawati, R. P. (2024). Pengembangan Flipbook Berbasis PjBL pada Materi Jaringan Tumbuhan untuk Melatihkan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik Kelas XI SMA. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 13(1), 97–104.
- Rahayu, A., Lestari, T., & Wulandari, R. (2022). Peningkatan Kemampuan Literasi Sains melalui Pembelajaran Berbasis Proyek. *Jurnal Penelitian dan Pembelajaran IPA*, 8(2), 145–153.
- Ramadhani, S., Wibowo, A., & Sari, P. (2023). Peran Fitur Digital dalam Memfasilitasi Praktik Berpikir Ilmiah. *Jurnal Pendidikan Digital*, 4(1), 66–75.
- Riduwan. (2016). *Skala Pengukuran untuk Penelitian Pendidikan* (ed. revisi). Bandung: Alfabeta.
- Sakti, A., & Swistoro, E. (2021). Implementasi *Project Based Learning* Berbantuan LKPD Elektronik pada Materi Bioteknologi. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 7(3), 256–264.
- Sapita, E. (2016). Pengaruh Penyajian Visual terhadap Motivasi Belajar Siswa. *Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 5(2), 45–52.
- Sari, M., Hartini, L., & Wati, S. (2021). Perangkat Ajar dengan Validitas Tinggi dan Hubungan dengan Pencapaian Kompetensi abad 21. *Jurnal Pendidikan Kontemporer*, 2(2), 88–96.
- Setiawan, R., & Pratiwi, N. (2021). Kriteria Kepraktisan Media Pembelajaran: Indikator dan Pengukuran. *Jurnal Pengajaran dan Pembelajaran*, 6(1), 23–31.
- Shofiyullah, Y. H., & Lisdiana, L. (2022). Profil Validitas E-LKPD Literasi Sains pada Materi Jamur untuk Melatihkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik Kelas X. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 11(1), 240–249.
- Suharyadi, S. (2021). Literasi Sains dalam Pembelajaran Biologi Abad 21. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 9(1), 55–64.
- Suryaningsih, Y., & Nisa, F. (2021). Analisis Literasi Sains Siswa SMA di Indonesia. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 10(3), 401–410.
- Syamsidah, S., Ramlawati, R., & Nurhayati, N. (2018). Pengembangan LKPD Berbasis Literasi Sains untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 4(2), 167–174.
- Wulandari, D., Rahayu, S., & Widodo, A. (2023). E-LKPD Berbasis Proyek untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dan Literasi Sains Siswa SMA. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 9(3), 201–210.
- Wulandari, D., & Suparmi, S. (2021). Fitur Digital Berbasis Literasi Sains dan Keterlibatan Peserta Didik. *Jurnal Media Pembelajaran*, 5(1), 31–39.
- Wusqo, I. (2022). Pengembangan Bahan Ajar Berbasis *Project Based Learning* untuk Meningkatkan Literasi Sains Peserta Didik. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 8(2), 133–142.
- Zahara, M., Abdurrahman, A., Herlina, K., Widyanti, R., & Agustiana, L. (2021). Teachers' Perceptions of 3D Technology Integrated Student Worksheet on Magnetic Field Material: A Preliminary Research on Augmented Reality in STEM Learning. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1796(1), 012043