

**PENGEMBANGAN E-LKPD PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN
TUMBUHAN BERBASIS PENDEKATAN PEMBELAJARAN MENDALAM
UNTUK MELATIH KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS MURID**

Elva Nur Cahya¹, Wisanti²

^{1,2}Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Surabaya

¹elva.22110@mhs.unesa.ac.id, ²wisanti@unesa.ac.id

ABSTRACT

This study aims to develop an Electronic Student Worksheet (E-worksheet) on plant growth and development based on a deep learning approach that is feasible to train the critical thinking skills of Grade XI high school students. This study employed the 4D development model (Define, Design, Develop, Disseminate) and was conducted at SMA Negeri 1 Gresik involving 30 Grade XI students. The feasibility of the E-worksheet was analyzed based on three aspects: validity, practicality, and effectiveness. Validity was assessed by two validators using the Aiken index, practicality was obtained from implementation observations and student response questionnaires, while effectiveness was analyzed through a paired sample t-test, N-gain calculation, and the attainment of critical thinking indicators. The results showed that (1) the validity of the E-worksheet obtained an average Aiken index of 0.99 in the valid category; (2) the practicality of the E-worksheet obtained an implementation percentage of 98.3% and student response of 95.1% in the very practical category; and (3) the effectiveness of the E-worksheet was evidenced by a paired sample t-test significance value of 0.000 (< 0.05), an average N-gain of 0.85 in the high category, and the attainment of all critical thinking indicators with an average score of ≥ 76 in the good to very good category. Based on these results, the E-worksheet on plant growth and development based on a deep learning approach is declared feasible and effective for training students' critical thinking skills.

Keywords: E-worksheet, deep learning approach, critical thinking skills, plant growth and development.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan Elektronik Lembar Kegiatan Murid (E-LKPD) pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan berbasis pendekatan pembelajaran mendalam yang layak untuk melatih keterampilan berpikir kritis murid kelas XI SMA. Penelitian ini menggunakan model pengembangan 4D (Define, Design, Develop, Disseminate) dan dilaksanakan di SMA Negeri 1 Gresik dengan melibatkan 30 murid kelas XI. Kelayakan E-LKPD dianalisis berdasarkan tiga aspek, yaitu validitas, kepraktisan, dan keefektifan. Validitas dinilai menggunakan indeks Aiken, kepraktisan diperoleh dari observasi keterlaksanaan dan angket respons

murid, sedangkan keefektifan dianalisis melalui uji paired sample t-test, perhitungan N-gain, dan ketercapaian indikator berpikir kritis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) validitas E-LKPD memperoleh rata-rata indeks Aiken sebesar 0,99 dengan kategori valid; (2) kepraktisan E-LKPD memperoleh persentase keterlaksanaan sebesar 98,3% dan respons murid sebesar 95,1% dengan kategori sangat praktis; serta (3) keefektifan E-LKPD dibuktikan melalui hasil uji paired sample t-test dengan nilai signifikansi 0,000 ($< 0,05$), rata-rata N-gain sebesar 0,85 dengan kategori tinggi, dan ketercapaian seluruh indikator berpikir kritis dengan nilai rata-rata ≥ 76 pada kategori baik hingga sangat baik. Berdasarkan hasil tersebut, E-LKPD pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan berbasis pendekatan pembelajaran mendalam dinyatakan layak digunakan untuk melatih keterampilan berpikir kritis murid.

Kata Kunci: E-LKPD, pembelajaran mendalam, keterampilan berpikir kritis, pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.

A. Pendahuluan

Pendidikan abad ke-21, yang juga dikenal sebagai era Revolusi Industri 4.0, merupakan bentuk pendidikan yang berkembang seiring pesatnya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (González-Pérez & Ramírez Montoya, 2022). Tujuan utama pendidikan abad ke-21 adalah mempersiapkan murid menghadapi tantangan masa depan dengan membekali mereka keterampilan yang sesuai dengan tuntutan perkembangan zaman (Voogt & Roblin, 2012). Salah satu keterampilan abad ke-21 yang perlu dikuasai murid adalah keterampilan berpikir kritis (Saavedra & Opfer, 2012). Facione (2015) menjelaskan bahwa berpikir kritis merupakan proses berpikir yang bertujuan untuk

membuktikan, menguraikan makna, dan menyelesaikan masalah, yang ditandai dengan enam indikator, yaitu interpretasi, eksplanasi, analisis, inferensi, evaluasi, dan regulasi diri.

Pada kenyataannya, keterampilan berpikir kritis murid di Indonesia masih tergolong rendah. Hasil *Programme for International Student Assessment* (PISA) tahun 2022 menunjukkan bahwa lebih dari 99% murid Indonesia hanya mampu menjawab soal pada level 1–3, yang merepresentasikan kemampuan berpikir tingkat dasar, sedangkan kurang dari 1% murid mampu menjawab soal pada level 4–6 yang merepresentasikan berpikir tingkat tinggi, termasuk berpikir kritis (OECD, 2023). Kondisi serupa dilaporkan Fitria dan Ambarwati (2024) di Kota Surabaya,

yang menunjukkan bahwa kemampuan berpikir kritis murid pada pembelajaran Biologi hanya mencapai rata-rata 51,85% (kategori rendah). Kondisi ini menunjukkan perlunya inovasi pembelajaran, salah satunya penerapan pendekatan pembelajaran mendalam.

Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah mengusulkan pembelajaran mendalam sebagai solusi untuk meningkatkan kualitas proses pembelajaran (Kemendikdasmen, 2025). Pembelajaran mendalam bertujuan membantu murid memperoleh pengetahuan baru secara efektif melalui pemahaman konsep yang mendalam dengan menerapkan prinsip berkesadaran (*mindful*), bermakna (*meaningful*), dan menyenangkan (*joyful*) (Marblestone dkk., 2016; Kemendikdasmen, 2025). Pendekatan ini terbukti relevan dengan pengembangan keterampilan berpikir kritis: Kintoko et al. (2025) melaporkan peningkatan sebesar 61% pada indikator interpretasi, analisis, dan evaluasi, sedangkan Ratnasari dkk. (2025) melaporkan peningkatan sebesar 64% pada indikator analisis, evaluasi, dan inferensi.

Materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan merupakan materi Biologi yang kontekstual karena berkaitan langsung dengan pengalaman nyata murid, seperti proses perkecambahan biji (Rambulanji, 2017), dan selaras dengan Capaian Pembelajaran Biologi Fase F yang menekankan penerapan prinsip pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup. Berdasarkan hasil wawancara dengan guru Biologi di SMA Negeri 1 Gresik, murid masih mengalami kesulitan dalam menganalisis faktor internal dan eksternal yang memengaruhi pertumbuhan tumbuhan, yang mengindikasikan bahwa keterampilan berpikir kritis murid pada indikator analisis belum berkembang optimal, sejalan dengan Abrami dkk. (2015) yang menyatakan bahwa rendahnya kemampuan analisis berhubungan dengan rendahnya berpikir kritis tingkat tinggi.

Sebagai upaya mendukung tercapainya keterampilan berpikir kritis tersebut, dibutuhkan bahan ajar yang dapat memfasilitasinya. E-LKPD merupakan lembar kerja berbasis digital yang dikembangkan sebagai bahan ajar abad ke-21 untuk membimbing murid melakukan kegiatan belajar (Suryaningsih &

Nurlita, 2021; Juliana dkk., 2024). Penggunaan E-LKPD terbukti efektif melatih keterampilan berpikir kritis, misalnya penelitian Uzma dan Rahayu (2025) yang menunjukkan ketuntasan sebesar 87% (kategori tinggi) dan penelitian Ningtyas dan Rahayu (2022) sebesar 92,6% (kategori tinggi) pada materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.

Penelitian terdahulu telah mengembangkan E-LKPD pada materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan, misalnya berbasis pendekatan saintifik (Luthfiyyah & Puspitawati, 2024) dan berbasis TPACK (Salsabila & Yuliani, 2024). Namun, penelitian yang secara khusus mengembangkan E-LKPD berbasis pendekatan pembelajaran mendalam pada materi tersebut masih sangat terbatas karena pembelajaran mendalam merupakan pendekatan yang relatif baru. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pengembangan E-LKPD berbasis pendekatan pembelajaran mendalam pada materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan untuk melatih keterampilan berpikir kritis murid. Kebaruan penelitian ini terletak pada E-LKPD yang dilengkapi video demonstrasi praktikum yang

dikembangkan secara orisinal, permainan pembelajaran interaktif melalui *Wordwall*, lembar kerja digital melalui *Liveworksheet*, serta fitur zona memahami, zona mengaplikasi, dan zona merefleksi yang dirancang selaras dengan prinsip pembelajaran mendalam.

Berdasarkan uraian tersebut, artikel ini memaparkan hasil pengembangan E-LKPD pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan berbasis pendekatan pembelajaran mendalam untuk melatih keterampilan berpikir kritis murid, yang secara khusus mendeskripsikan validitas E-LKPD ditinjau dari validasi ahli materi dan ahli media, kepraktisan E-LKPD ditinjau dari keterlaksanaan pembelajaran dan respons murid, serta keefektifan E-LKPD ditinjau dari ketercapaian keterampilan berpikir kritis murid.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development*) yang menggunakan model 4D, meliputi tahap *Define*, *Design*, *Develop*, dan *Disseminate*. Model 4D dipilih karena tahapannya sederhana namun sistematis, sehingga proses telaah dan revisi

dapat dilakukan berulang tanpa harus dimulai dari awal (Aimmah & Amin, 2025). Tahap *define* meliputi analisis kurikulum, analisis murid, analisis konsep materi, dan analisis tugas. Tahap *design* menghasilkan rancangan awal (Draft I) E-LKPD, tahap *develop* meliputi validasi ahli dan uji coba terbatas untuk menghasilkan produk yang valid, praktis, dan efektif, sedangkan tahap *disseminate* berupa uji coba lapangan pada skala yang lebih luas.

Tahap pengembangan E-LKPD dilaksanakan pada bulan April 2025 hingga Februari 2026 di Program Studi Pendidikan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, sedangkan uji coba produk dilaksanakan pada bulan April 2026 di SMA Negeri 1 Gresik. Subjek uji coba dalam penelitian ini adalah murid kelas XI jurusan MIPA SMA Negeri 1 Gresik yang berjumlah 30 murid. Rancangan uji keefektifan menggunakan *one-group pretest-posttest design*, yaitu membandingkan hasil tes keterampilan berpikir kritis murid sebelum dan sesudah penggunaan E-LKPD tanpa kelompok pembandingan.

Variabel dalam penelitian ini meliputi validitas (ditinjau dari penilaian ahli materi dan ahli media),

kepraktisan (ditinjau dari keterlaksanaan E-LKPD dan respons murid), serta keefektifan (ditinjau dari ketercapaian keterampilan berpikir kritis murid). E-LKPD dinyatakan valid apabila indeks validitas Aiken $V > 0,75$ (Nurjanah dkk., 2023), dinyatakan praktis apabila persentase keterlaksanaan dan respons murid $\geq 70\%$ (Akbar, 2013), serta dinyatakan efektif apabila nilai signifikansi uji-t $< 0,05$ dan rata-rata *N-gain* $\geq 0,30$ (Sundayana, 2016). Ringkasan kriteria kelayakan tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Kelayakan E-LKPD

Aspek	Kriteria Kelayakan
Validitas	Indeks Aiken $V > 0,75$
Kepraktisan	Persentase $\geq 70\%$
Keefektifan	Sig. $< 0,05$; <i>N-gain</i> $\geq 0,30$

Instrumen penelitian yang digunakan terdiri atas: (1) lembar validasi E-LKPD berisi 25 butir pernyataan pada aspek penyajian, isi, dan kebahasaan dengan skala Likert 4 poin; (2) lembar observasi keterlaksanaan berisi 6 butir kegiatan dengan skala Guttman (1 = terlaksana, 0 = tidak terlaksana); (3) angket respons murid berisi 18 butir pernyataan dengan skala Guttman; serta (4) soal *pretest* dan *posttest* berupa 12 soal uraian yang disusun berdasarkan enam indikator berpikir

kritis Facione (2015), masing-masing dua soal per indikator.

Data validasi dikumpulkan dari dua dosen ahli (ahli materi dan ahli media) dan dianalisis menggunakan indeks validitas Aiken V. Data kepraktisan dikumpulkan melalui observasi keterlaksanaan oleh tiga observer serta angket respons yang diisi oleh 30 murid, kemudian dianalisis dalam bentuk persentase dan diinterpretasikan ke kriteria: 86–100% sangat praktis, 71–85% praktis, 51–70% kurang praktis, dan 0–50% tidak praktis (Akbar, 2013). Data keefektifan diperoleh dari nilai *pretest* dan *posttest* yang dianalisis menggunakan uji *paired sample t-test* berbantuan SPSS serta perhitungan *N-gain* dengan kriteria: $g > 0,70$ tinggi, $0,30 < g \leq 0,70$ sedang, dan $g \leq 0,30$ rendah (Sundayana, 2016). Keefektifan juga ditinjau dari

ketercapaian tiap indikator berpikir kritis, dengan kriteria ketercapaian: 86–100 sangat baik, 76–85 baik, 60–75 cukup, 56–59 rendah, dan 0–50 sangat rendah (Fausan dkk., 2021).

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

1. Validitas E-LKPD

E-LKPD dikembangkan melalui tahap design menjadi Draft I yang kemudian ditelaah oleh dosen pembimbing, direvisi menjadi Draft II, dan divalidasi oleh dua dosen ahli (ahli materi dan ahli media) dari Jurusan Biologi FMIPA Unesa. Hasil validasi pada komponen penyajian memperoleh rata-rata indeks Aiken sebesar 0,94, komponen isi sebesar 0,98, dan komponen kebahasaan sebesar 1,00, sehingga diperoleh rata-rata total indeks Aiken sebesar 0,99 dengan kategori valid (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil Validasi E-LKPD

Komponen Penilaian	Persentase	Kategori
Penyajian	0,94	Valid
Isi	0,98	Valid
Kebahasaan	1,00	Valid
Rata-rata	0,99	Valid

Berdasarkan kriteria pada Tabel 1, nilai indeks Aiken yang diperoleh (0,99) berada di atas ambang 0,75, sehingga E-LKPD pertumbuhan dan

perkembangan tumbuhan berbasis pendekatan pembelajaran mendalam dinyatakan valid dan layak digunakan dalam pembelajaran. Tingginya

validitas komponen kebahasaan menunjukkan bahwa bahasa yang digunakan telah sesuai dengan Pedoman Umum Ejaan Bahasa Indonesia (PUEBI), sedangkan validitas komponen isi yang tinggi menunjukkan kesesuaian kegiatan belajar dengan indikator berpikir kritis Facione (2015) yang menjadi acuan penyusunan E-LKPD.

2. Kepraktisan E-LKPD

Kepraktisan E-LKPD ditinjau dari hasil observasi keterlaksanaan

pembelajaran dan angket respons murid. Observasi keterlaksanaan yang dilakukan oleh tiga observer selama pembelajaran menggunakan E-LKPD I dan E-LKPD II memperoleh rata-rata persentase keterlaksanaan sebesar 98,3% dengan kategori sangat praktis. Adapun hasil angket respons murid terhadap komponen penyajian, isi, dan kebahasaan E-LKPD disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Keterlaksanaan dan Respons Murid

Aspek Kepraktisan	Persentase	Kategori
Keterlaksanaan pembelajaran	98,3%	Sangat praktis
Respons positif murid – penyajian	96,7%	Sangat praktis
Respons positif murid – isi	98,5%	Sangat praktis
Respons positif murid – kebahasaan	90,0%	Sangat praktis
Rata-rata respons murid	95,1%	Sangat praktis

Berdasarkan kriteria pada Tabel 1, persentase keterlaksanaan (98,3%) dan rata-rata respons murid (95,1%) berada jauh di atas ambang 70%, sehingga E-LKPD dinyatakan sangat praktis digunakan dalam pembelajaran. Tingginya keterlaksanaan menunjukkan bahwa seluruh tahapan kegiatan pada E-LKPD, mulai dari zona memahami, zona mengaplikasi, hingga zona mereflesi, dapat dilaksanakan sesuai rancangan. Respons positif murid terhadap komponen isi (98,5%) menunjukkan

bahwa kegiatan merancang percobaan, menganalisis data, dan menjelaskan hasil praktikum dalam E-LKPD membantu murid memahami materi sekaligus melatih keterampilan berpikir kritis, sejalan dengan Facione (2015). Respons terhadap komponen penyajian (96,7%) menunjukkan bahwa tampilan, warna, dan media visual berupa gambar serta video pada E-LKPD menarik dan mudah digunakan, sejalan dengan Mayer (2024) yang menyatakan bahwa kombinasi teks, gambar, dan

multimedia mendukung pemahaman murid. Adapun komponen kebahasaan yang memperoleh respons sedikit lebih rendah (90,0%) tetap berada pada kategori sangat praktis, menunjukkan bahasa dalam E-LKPD cukup mudah dipahami secara mandiri oleh murid.

3. Keefektifan E-LKPD

Keefektifan E-LKPD dianalisis melalui perbandingan nilai *pretest* dan

posttest keterampilan berpikir kritis murid menggunakan uji *paired sample t-test* berbantuan SPSS. Setelah penggunaan E-LKPD diperoleh rata-rata nilai *pretest* sebesar 48,0 dan rata-rata nilai *posttest* sebesar 91,6, dengan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($< 0,05$), sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Paired Sample t-test

Rata-rata Pretest	Rata-rata Posttest	Sig. (2-tailed)
48,0	91,6	0,000

Nilai signifikansi sebesar 0,000 ($< 0,05$) menunjukkan bahwa H_0 ditolak, sehingga terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai *pretest* dan *posttest* murid setelah penggunaan E-LKPD. Hasil ini membuktikan bahwa peningkatan yang terjadi merupakan dampak nyata dari penggunaan E-LKPD, bukan kebetulan, mengingat kondisi tanpa E-LKPD tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Temuan ini sejalan dengan Ratnasari dkk. (2025) dan Kintoko dkk. (2025) yang juga melaporkan bahwa penerapan pembelajaran mendalam efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis murid.

Besar peningkatan hasil belajar murid selanjutnya dianalisis menggunakan *N-gain*, dan diperoleh rata-rata *N-gain* sebesar 0,85 dengan kategori tinggi. Secara individual, 29 dari 30 murid berada pada kategori tinggi dan hanya 1 murid berada pada kategori sedang, tanpa ada murid pada kategori rendah. Berdasarkan kriteria pada Tabel 1, nilai *N-gain* $\geq 0,30$ menunjukkan bahwa E-LKPD efektif, dan capaian rata-rata 0,85 menegaskan keefektifan yang tinggi (Sundayana, 2016). Tingginya *N-gain* berkaitan erat dengan desain aktivitas E-LKPD yang disusun sesuai tiga pengalaman belajar pembelajaran mendalam, yaitu memahami (interpretasi video

pembelajaran pada zona memahami), mengaplikasi (merancang dan melaksanakan praktikum pada zona mengaplikasi), dan merefleksi (mengevaluasi proses dan hasil percobaan pada zona merefleksi) (Kemendikdasmen, 2025).

Keefektifan E-LKPD juga dianalisis melalui ketercapaian enam indikator berpikir kritis menurut Facione (2015). Seluruh indikator memperoleh nilai ketercapaian ≥ 76 dengan kategori baik hingga sangat baik, sebagaimana disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Ketercapaian Indikator Berpikir Kritis

Indikator	Nilai	Topik Materi	Kategori
Interpretasi	96,9	Hormon tumbuhan dan faktor lingkungan	Sangat baik
Analisis	94,3	Perancangan percobaan pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan	Sangat baik
Inferensi	81,3	Analisis hasil percobaan pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan	Baik
Evaluasi	92,7	Mekanisme pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan	Sangat baik
Eksplanasi	87,9	Penerapan konsep pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan	Sangat baik
Evaluasi	92,7	Perbaikan rancangan percobaan pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan	Sangat baik
Regulasi diri	97,3	Hormon tumbuhan dan faktor lingkungan	Sangat baik

Indikator regulasi diri memperoleh nilai ketercapaian tertinggi (97,3), diukur melalui soal yang menuntut murid merefleksikan hasil percobaan yang kurang optimal dan merumuskan perbaikannya. Capaian tinggi ini berkaitan erat dengan prinsip berkesadaran dalam pembelajaran mendalam yang menekankan pentingnya murid

memahami apa dan mengapa mereka belajar (Kemendikdasmen, 2025). Indikator interpretasi (96,9) dan analisis (94,3) juga memperoleh capaian sangat baik, yang masing-masing dilatih secara konsisten melalui kegiatan menafsirkan video pembelajaran pada zona memahami serta menganalisis data hasil praktikum pada zona mengaplikasi,

sejalan dengan Abrami dkk. (2015) yang menegaskan bahwa kemampuan analisis merupakan inti berpikir kritis tingkat tinggi.

Indikator evaluasi (92,7) dilatih melalui kegiatan menilai kesesuaian hasil praktikum dengan hipotesis pada zona mengaplikasi dan zona merefeksi. Indikator eksplanasi memperoleh nilai sedikit lebih rendah (87,9) karena menuntut kemampuan komunikasi ilmiah yang menyusun penjelasan secara logis dan runtut, sedangkan indikator inferensi memperoleh nilai terendah (81,3), meski tetap memenuhi kriteria ketercapaian. Rendahnya capaian pada inferensi dibandingkan indikator lain sejalan dengan Ennis (2011) dan Fausan dkk. (2021) yang menyatakan bahwa inferensi menuntut kemampuan berpikir tingkat tinggi paling kompleks karena melibatkan proses berpikir deduktif dan induktif sekaligus, sehingga pengembangan selanjutnya perlu memperbanyak porsi latihan merancang percobaan dalam E-LKPD.

Secara keseluruhan, ketercapaian keenam indikator berpikir kritis dengan nilai rata-rata ≥ 76 membuktikan bahwa E-LKPD pertumbuhan dan perkembangan

tumbuhan berbasis pendekatan pembelajaran mendalam efektif melatih seluruh komponen keterampilan berpikir kritis murid secara menyeluruh. Keberhasilan ini juga didukung penerapan prinsip menggembirakan melalui penggunaan permainan pembelajaran (*Wordwall*) dan tampilan E-LKPD yang menarik, yang meningkatkan keterlibatan emosional dan motivasi belajar murid (Bhakti dkk., 2019), serta prinsip bermakna yang menghubungkan materi dengan pengalaman nyata murid seperti praktikum pengaruh hormon etilen terhadap pematangan buah. Hasil ini memperkuat temuan Uzma dan Rahayu (2025) yang melaporkan E-LKPD pada materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan efektif melatih keterampilan berpikir kritis murid dengan rata-rata ketuntasan sebesar 87% pada kategori tinggi.

D. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan E-LKPD pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan berbasis pendekatan pembelajaran mendalam untuk melatih keterampilan berpikir kritis murid yang layak digunakan berdasarkan aspek validitas,

kepraktisan, dan keefektifan. E-LKPD dinyatakan valid dengan rata-rata indeks Aiken sebesar 0,99. E-LKPD dinyatakan praktis berdasarkan persentase keterlaksanaan sebesar 98,3% dan respons murid sebesar 95,1%. E-LKPD dinyatakan sangat efektif berdasarkan hasil uji *paired sample t-test* dengan nilai signifikansi 0,000 ($< 0,05$), rata-rata *N-gain* sebesar 0,85 (kategori tinggi), serta ketercapaian seluruh indikator berpikir kritis dengan nilai rata-rata ≥ 76 pada kategori baik hingga sangat baik.

Penelitian ini masih terbatas pada keterampilan berpikir kritis dan materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melatih keterampilan abad ke-21 lainnya, seperti kreativitas, komunikasi, kolaborasi, pemecahan masalah, maupun literasi sains, serta mengembangkan E-LKPD berbasis pendekatan pembelajaran mendalam pada materi pembelajaran Biologi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrami, P. C., Bernard, R. M., Borokhovski, E., Waddington, D. I., Wade, C. A., & Persson, T. (2015). Strategies for teaching students to think critically: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 85(2), 275–314.
- Aimmah, I., & Amin, M. (2025). Thiagarajan's 4-D learning model: A theoretical study and its application in learning device development. *Journal of Education Policy Analysis*, 1(1), 17–24.
- Akbar, S. (2013). *Instrumen Perangkat Pembelajaran*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Bhakti, C. P., Ghiffari, M. A. N., & Salsabil, K. (2019). Joyful learning: Alternative learning models to improving student's happiness. *Jurnal Varidika*, 30(2), 30–35.
- Ennis, R. H. (2011). Critical thinking: Reflection and perspective, Part I. *Inquiry: Critical Thinking Across the Disciplines*, 26(1), 4–18.
- Facione, P. A. (2015). Critical thinking: What it is and why it counts. *Insight Assessment*, 1(1), 1–23.
- Fausan, M. M., Susilo, H., Gofur, A., Sueb, & Yusop, F. D. (2021). Assessing students' prior knowledge on critical thinking skills in the biology classroom: Has it already been good? *AIP Conference Proceedings*, 2330(1), 030016.
- Fitria, L., & Ambarwati, R. (2024). Profil keterampilan berpikir kritis siswa SMA di Surabaya. *Seminar Nasional Inovasi Penelitian dan Pembelajaran Biologi*, 8, 61–66.
- González-Pérez, L. I., & Ramírez-Montoya, M. S. (2022). Components of Education 4.0 in 21st century skills frameworks: Systematic review. *Sustainability*, 14(3), 1493.
- Abrami, P. C., Bernard, R. M., Borokhovski, E., Waddington, D. I., Wade, C. A., & Persson, T. (2015). Strategies for teaching students to think critically: A meta-analysis.

- Juliana, N., Ampera, D., & Sinukaban, V. Y. (2024). Digital student worksheets to improving students' learning independence. *Journal of Education Technology*, 8(1), 31–41.
- Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah. (2025). *Naskah Akademik Pembelajaran Mendalam: Menuju Pendidikan Bermutu untuk Semua*. Kemendikdasmen.
- Kintoko, K., Waluya, S. B., & Muridnto, D. H. (2025). Effectiveness of the deep learning approach in enhancing students' critical thinking skills on matrix material. *Jurnal Karya Pendidikan Matematika*, 12(1), 79–85.
- Luthfiyyah, A., & Puspitawati, R. P. (2024). Kelayakan E-LKPD berbasis saintifik pada materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan kelas XII untuk melatih literasi sains murid. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 13(3), 533–542.
- Marblestone, A. H., Wayne, G., & Kording, K. P. (2016). Toward an integration of deep learning and neuroscience. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 10, 215943.
- Mayer, R. E. (2024). The past, present, and future of the cognitive theory of multimedia learning. *Educational Psychology Review*, 36(1), 1–28.
- Ningtyas, L. R., & Rahayu, Y. S. (2022). Pengembangan e-LKPD interaktif pada materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan untuk melatih keterampilan berpikir kritis peserta didik kelas XII. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 11(3), 527–536.
- Nurjanah, S., Istiyono, E., Widiastuti, W., Iqbal, M., & Kamal, S. (2023). The application of Aiken's V method for evaluating the content validity of instruments that measure the implementation of formative assessments. *Journal of Research and Educational Research Evaluation*, 12(2), 125–133.
- OECD. (2023). *PISA 2022 Results (Volume II): Learning During – and From – Disruption*. OECD Publishing.
- Rambulangi, E. (2017). Peningkatan hasil belajar pokok bahasan pertumbuhan tanaman dengan metode pembelajaran kontekstual murid kelas X SMK Balla Kabupaten Mamasa. *Jurnal Mekom*, 4(2), 83–91.
- Ratnasari, R., Nurvicalesi, N., & Wati, A. S. (2025). Implementasi pembelajaran mendalam terhadap kemampuan berpikir kritis matematis murid. *Algoritma: Jurnal Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, Kebumihan dan Angkasa*, 3(4), 43–50.
- Saavedra, A. R., & Opfer, V. D. (2012). *Teaching and Learning 21st Century Skills: Lessons from the Learning Sciences*. New York: Asia Society.
- Salsabila, S. N., & Yuliani, Y. (2024). Pengembangan E-LKPD berbasis TPACK learning model collaborative learning materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan untuk melatih keterampilan berpikir kritis murid.

- Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 13(3), 674–683.
- Sundayana, R. (2016). *Statistika Penelitian Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- Suryaningsih, S., & Nurlita, R. (2021). Pentingnya lembar kerja murid elektronik (E-LKPD) inovatif dalam proses pembelajaran abad 21. *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 2(7), 1256–1268.
- Uzma, I. A., & Rahayu, Y. S. (2025). Efektivitas E-LKPD berbasis guided discovery untuk melatih keterampilan berpikir kritis murid kelas XII pada materi pertumbuhan dan perkembangan. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 14(1), 140–148.
- Voogt, J., & Roblin, N. P. (2012). A comparative analysis of international frameworks for 21st century competences: Implications for national curriculum policies. *Journal of Curriculum Studies*, 44(3), 299–321.