

DESAIN E-LKPD INTERAKTIF BERBASIS *PROBLEM BASED LEARNING* MELALUI PEMBELAJARAN MENDALAM UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS SISWA SMA PADA MATERI SISTEM EKSRESI

Design of an Interactive E-Worksheet Based on Problem-Based Learning through Deep Learning to Enhance Senior High School Students' Critical Thinking Skills on the Excretory System Topics

Friska Agustina Kusuma Putri

Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: friskaagustina.22040@mhs.unesa.ac.id

Raharjo

Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: raharjo@unesa.ac.id

Corresponding author: raharjo@unesa.ac.id

Abstrak

Pembelajaran Biologi dalam kurikulum yang mengintegrasikan pendekatan Pembelajaran Mendalam menekankan penguatan penalaran kritis yang selaras dengan tuntutan keterampilan abad ke-21. Namun, bahan ajar di sekolah masih didominasi LKPD konvensional dan belum secara sistematis melatih indikator kemampuan berpikir kritis dalam topik Sistem Ekskresi yang abstrak dan kompleks. Fokus utama penelitian ini adalah mendesain dan menguji kelayakan E-LKPD interaktif berbasis *Problem Based Learning* (PBL) melalui Pembelajaran Mendalam untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa kelas XI SMA. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah model pengembangan 4D yang dibatasi hingga tahap *develop* dengan uji coba terbatas pada siswa kelas XI SMAN 7 Surabaya. Data dikumpulkan melalui instrumen yang meliputi lembar uji validitas dari ahli, lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran, lembar angket respons siswa, dan tes *pretest* serta *posttest* berbasis indikator berpikir kritis. Hasil menunjukkan E-LKPD memperoleh validitas 95,6% (sangat valid), kepraktisan sangat praktis dengan keterlaksanaan 96,7% dan respons siswa 99,22%, serta peningkatan skor rata-rata dari 48,83% menjadi 90,67% dengan skor N-Gain 0,81 yang termasuk ke dalam kategori tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa E-LKPD interaktif berbasis PBL melalui Pembelajaran Mendalam terbukti memenuhi kriteria kevalidan, kepraktisan, serta keefektifan dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis pada materi Sistem Ekskresi.

Kata Kunci: E-LKPD interaktif, *Problem Based Learning*, Pembelajaran Mendalam, keterampilan berpikir kritis, Sistem Ekskresi.

Abstract

Biology education integrating a Deep Learning approach emphasizes strengthening critical reasoning to align with 21st-century skill demands. However, instructional materials in schools remain dominated by conventional worksheets and fail to systematically cultivate critical thinking indicators, particularly regarding the abstract and complex nature of the Excretory System. This research primarily aimed to design and evaluate the feasibility of an interactive E-Worksheet (E-LKPD) based on Problem-Based Learning (PBL) through a Deep Learning approach to enhance the critical thinking skills of eleventh-grade students. The study employed the 4D development model, limited to the development stage, with a restricted trial involving eleventh-grade students at SMAN 7 Surabaya. Data were gathered through expert validation sheets, learning implementation observation forms, student response questionnaires, and pretest-posttest assessments mapped to critical thinking indicators. Results indicated that the E-Worksheet achieved a validity score of 95.6% (very valid), demonstrated high practicality with a 96.7% implementation rate and 99.22% student response rate, and showed a significant increase in average scores from 48.83% to 90.67% with an N-Gain score of 0.81 (high category). Consequently, the interactive PBL-based E-Worksheet integrated with a Deep Learning approach is proven to meet the criteria for validity, practicality, and effectiveness in improving critical thinking skills within the Excretory System topic.

Keywords: Interactive E-Worksheet, Problem-Based Learning, Deep Learning, critical thinking skills, Excretory System



PENDAHULUAN

Pembelajaran merupakan proses terencana yang bertujuan untuk membimbing peserta didik mencapai kompetensi sebagaimana ditetapkan dalam kurikulum. Keberhasilan proses pembelajaran dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berhubungan, yaitu peran guru sebagai fasilitator, kualitas media dan perangkat pembelajaran, karakteristik siswa, kesiapan sarana prasarana, serta lingkungan belajar yang kondusif (Purnamaningsih & Purbangkara, 2022). Dalam konteks pembelajaran abad ke-21 yang mengharuskan siswa mendalami kecakapan 4C (*critical thinking, creativity, collaboration, communication*) secara maksimal, dengan berpikir kritis sebagai salah satu kompetensi esensial. Sejalan dengan kebijakan pendidikan nasional terbaru, pendekatan Pembelajaran Mendalam (PM) diaplikasikan dengan mengusung prinsip pembelajaran yang penuh kesadaran, memiliki arti (bermakna), dan menggembirakan guna memperkuat kompetensi tersebut (Kemendikdasmen, 2025).

Keterampilan berpikir kritis menjadi elemen strategis dalam PM karena terintegrasi dalam dimensi profil lulusan, khususnya aspek penalaran kritis sebagaimana diatur dalam Permendikdasmen No. 13 Tahun 2025. Menurut Facione (2015), berpikir kritis adalah proses evaluasi reflektif yang sistematis dan bertujuan, dimana diwujudkan melalui aktivitas interpretasi, analisis, eksplanasi, inferensi, evaluasi, dan regulasi diri. Dalam pendekatan PM, siswa diharuskan untuk memahami informasi dan memiliki kemahiran dalam penganalisisan problematika kontekstual, mengajukan pertanyaan kritis, mengevaluasi alternatif solusi, serta merefleksikan proses berpikirnya. Pembelajaran tidak lagi berorientasi pada hafalan, melainkan pada pembentukan struktur kognitif yang mendalam dan aplikatif.

Namun, keterampilan berpikir kritis siswa masih menunjukkan capaian yang belum optimal sebagaimana dilaporkan dalam beberapa penelitian. Dalam penelitian Sari *et al.* (2025), data pra-penelitian yang diperoleh dari siswa kelas XI SMAN 7 Surabaya mengindikasikan bahwa capaian indikator berpikir kritis belum merata, dengan persentase interpretasi sebesar 50%, analisis 16,4%, evaluasi 10,9%, inferensi 21,09%, eksplanasi 33,59%, dan regulasi diri 68,75%. Temuan ini diperkuat oleh penelitian Sugiharti dan Gayatri (2021) pada siswa SMA Muhammadiyah di Kota Surabaya yang menunjukkan rata-rata capaian sebesar 51,85% dengan kategori rendah. Selain itu, penelitian Fitria dan Ambarwati (2024) yang melibatkan 181 siswa dari enam SMA di Surabaya, dapat diindikasikan bahwa kecakapan berpikir kritis siswa tergolong dalam tingkatan sedang. Berdasarkan temuan tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa keterampilan berpikir kritis siswa masih memerlukan penguatan yang diintegrasikan dalam pembelajaran secara sistematis.

Kondisi tersebut diperkuat oleh data yang diperoleh melalui teknik observasi dan wawancara pendahuluan yang dilaksanakan 19 Mei 2025 di kelas XI SMAN 7 Surabaya, siswa menghadapi hambatan signifikan dalam menguasai materi Sistem Organ, yaitu Sistem Ekskresi. Materi tersebut dianggap kompleks karena melibatkan keterkaitan struktur dan fungsi organ serta proses fisiologis yang tidak memiliki representasi fisik secara nyata. Selain itu, pembelajaran pada materi tersebut belum pernah melibatkan kegiatan praktikum nyata, sehingga siswa kurang terlatih dalam menganalisis informasi, mengaitkan konsep dengan fenomena kehidupan sehari-hari, serta mengevaluasi permasalahan kesehatan yang berkaitan dengan organ ekskresi.

Materi Sistem Ekskresi memiliki urgensi tinggi dalam pembelajaran Biologi karena berkaitan dengan proses eliminasi zat sisa metabolisme dan pemeliharaan homeostasis tubuh. Selain itu, materi ini relevan dengan berbagai persoalan kesehatan yang umum terjadi di tengah masyarakat (Adinda, 2024). Karakteristik materi yang abstrak dan kompleks menuntut representasi visual serta pendekatan pembelajaran yang kontekstual dan berbasis penyelidikan. Maka dari itu, perlu untuk diterapkan model pembelajaran yang dapat menstimulasi siswa dalam mengonstruksi pengetahuan secara aktif serta memberikan pengalaman belajar yang signifikan.

Penerapan model yang diidentifikasi sebagai langkah efektif untuk mengoptimalkan kemampuan berpikir kritis siswa, yakni *Problem Based Learning* (PBL). Menurut Arends (2012), PBL dirancang untuk mendukung perkembangan intelektual dan kecakapan siswa dalam mencari solusi atas persoalan yang dihadapi melalui penyajian masalah autentik. PBL dilaksanakan melalui lima sintaks utama, dimulai dari orientasi siswa pada masalah dan pengorganisasian belajar, yang dilanjutkan dengan pembimbingan penyelidikan. Tahap akhir meliputi pengembangan serta presentasi hasil karya, yang ditutup dengan analisis dan evaluasi terhadap solusi yang dihasilkan. Pendekatan ini memungkinkan siswa membangun pengetahuan melalui refleksi pengalaman dan investigasi berbasis teori (Siswanti & Indrajit, 2023). Dengan menggunakan permasalahan nyata, PBL mendorong keterlibatan aktif siswa sekaligus melatih kemampuan analitis, evaluatif, dan reflektif.

Agar implementasi PBL lebih optimal, diperlukan media pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik model tersebut. Seiring perkembangan teknologi, pemanfaatan media digital interaktif menjadi peluang besar dalam meningkatkan kualitas pembelajaran. Bentuk inovasi yang dapat direalisasikan adalah pengembangan Lembar Kerja

Peserta Didik Elektronik (E-LKPD). E-LKPD memungkinkan integrasi multimedia seperti video kasus autentik, animasi, gambar 3D, QR code, serta aktivitas reflektif yang dirancang untuk melatih enam indikator berpikir kritis menurut Facione (2015). Integrasi fitur interaktif dalam E-LKPD juga sejalan dengan teori belajar bermakna (*meaningful learning*) Ausubel (1968) yang menekankan pentingnya pengaitan informasi baru dengan pengetahuan awal siswa agar terbentuk pemahaman konseptual yang lebih mendalam dan tahan lama.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa implementasi E-LKPD berbasis PBL pada pokok bahasan Sistem Ekskresi menunjukkan pengaruh positif terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa (Hisbiyah & Qomariyah, 2024). Namun, pengembangan tersebut belum sepenuhnya mengintegrasikan media digital interaktif dan seluruh indikator berpikir kritis secara komprehensif. Sejalan dengan hal tersebut, penelitian yang dilakukan oleh Azrina dan Sandika (2022) mengindikasikan bahwa E-LKPD yang mengintegrasikan model PBL efektif untuk memperkuat aspek berpikir kritis meliputi: interpretasi, analisis, eksplanasi, inferensi, evaluasi, hingga regulasi diri siswa pada topik Sistem Pernapasan. Meskipun demikian, belum terdapat pengembangan E-LKPD interaktif berbasis PBL melalui pendekatan Pembelajaran Mendalam pada materi Sistem Ekskresi yang memadukan fitur digital seperti *Liveworksheets*, QR code visualisasi 3D, praktikum sederhana, serta pelatihan keenam indikator berpikir kritis.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan desain E-LKPD interaktif berbasis *Problem Based Learning* melalui Pembelajaran Mendalam pada materi Sistem Ekskresi untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa kelas XI SMA. Desain produk ini diarahkan pada pencapaian standar validitas, kepraktisan, dan keefektifan untuk menghadirkan alternatif pemecahan masalah yang inovatif dalam pendidikan Biologi yang menekankan aspek kontekstual, interaksi aktif, serta keselarasan dengan standar kurikulum terbaru.

METODE

Penelitian ini adalah penelitian pengembangan untuk mendesain E-LKPD interaktif berbasis PBL. Dengan menekankan pada aspek Pembelajaran Mendalam di materi Sistem Ekskresi, inovasi ini menargetkan peningkatan kompetensi berpikir kritis bagi siswa di jenjang kelas XI SMA. Model 4D yang dikembangkan oleh Thiagarajan *et al.* (1974) dipilih sebagai acuan metodologis dalam penelitian ini, yang mencakup tahapan pendefinisian (*define*), perancangan (*design*), pengembangan (*develop*), hingga tahap penyebaran produk (*disseminate*). Namun, ruang lingkup penelitian pengembangan ini dibatasi hingga tahap pengembangan (*develop*) dan uji coba terbatas, tidak dilakukan tahap *disseminate* secara luas karena fokus penelitian adalah pengujian kelayakan awal produk.

Tahap *define* dilakukan melalui analisis kurikulum, analisis siswa, analisis konsep, analisis tugas, dan perumusan tujuan pembelajaran. Analisis kurikulum mengacu pada Capaian Pembelajaran Fase F (Kemendikdasmen, 2025) serta Permendikdasmen Nomor 13 Tahun 2025 tentang Pembelajaran Mendalam. Berdasarkan teori perkembangan kognitif Piaget (1952), siswa kelas XI berada pada tahap operasional formal sehingga telah mampu berpikir abstrak, namun masih memerlukan stimulasi yang terstruktur untuk mengoptimalkan keterampilan berpikir kritis. Analisis konsep difokuskan pada materi Sistem Ekskresi manusia, khususnya organ ginjal dan paru-paru, dengan merujuk pada literatur biologi yang relevan (Campbell *et al.*, 2010), sebagai dasar penyusunan indikator berpikir kritis menurut Facione (2015).

Tahap *design* meliputi perancangan E-LKPD sesuai sintaks PBL (Arends, 2012) dan indikator berpikir kritis Facione (2015), serta penyusunan tes keterampilan berpikir kritis siswa. Produk E-LKPD dikembangkan dalam format digital interaktif menggunakan Canva dan terintegrasi ke *Liveworksheets* agar dapat diakses secara *on the web*. Fitur-fitur dalam E-LKPD dirancang untuk memfasilitasi indikator berpikir kritis interpretasi, analisis, inferensi, evaluasi, eksplanasi, dan regulasi diri. Tahap *develop* meliputi validasi oleh dua dosen ahli Pendidikan Biologi FMIPA Universitas Negeri Surabaya dan diimplementasikan melalui uji coba skala kecil kepada 25 siswa kelas XI SMAN 7 Surabaya semester ganjil tahun ajaran 2025/2026 untuk menilai kelayakan dan keterlaksanaan produk. Tahap *disseminate* pada penelitian ini diimplementasikan secara terbatas, serta akan dilakukan publikasi hasil penelitian dalam bentuk artikel ilmiah, sedangkan implementasi secara lebih luas direkomendasikan untuk penelitian lanjutan.

Lembar validasi disusun menggunakan skala Likert empat tingkat (1–4) untuk mengevaluasi aspek kelayakan materi, kebahasaan, sistematika penyajian, dan kesesuaian dengan sintaks PBL serta indikator berpikir kritis. Skala empat tingkat dipilih untuk menghindari kategori netral, yang bertujuan mendorong validator untuk memberikan penilaian yang lebih kontras dan tegas terhadap aspek-aspek kualitas produk. Lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran dan angket respons siswa diukur melalui skala Guttman, opsi jawaban menggunakan pilihan dikotomis; skor 1 diberikan untuk pilihan 'Ya' dan skor 0 untuk pilihan 'Tidak' untuk memperoleh data kepraktisan secara objektif dan konsisten (Sugiyono, 2019).

Tes keterampilan berpikir kritis berbentuk soal esai yang disusun berdasarkan enam indikator berpikir kritis oleh Facione (2015). Di samping perolehan data kuantitatif, penelitian ini juga mengumpulkan data kualitatif yang bersumber dari saran dan komentar konstruktif yang diberikan oleh para validator, serta hasil pengamatan selama proses pembelajaran sebagai dasar revisi produk. Teknik analisis data dalam penelitian ini menerapkan metode deskriptif kuantitatif untuk memaparkan hasil penilaian secara sistematis. Data validitas dan kepraktisan dianalisis menggunakan teknik persentase dengan rumus:

$$\text{Persentase (\%)} = \frac{\text{Jumlah Skor yang Diperoleh}}{\text{Jumlah Skor Maksimal}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan kemudian diinterpretasikan berdasarkan kriteria kelayakan menurut Riduwan (2015), Produk dinyatakan layak apabila memperoleh nilai minimal 61%, karena kategori tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar indikator telah terpenuhi dan produk dapat digunakan dengan revisi kecil.

Keefektifan E-LKPD dianalisis menggunakan skor *normalized gain* (N-Gain) yang dikemukakan oleh Hake (1999) untuk mengukur peningkatan hasil belajar berdasarkan normalisasi selisih skor *pretest-posttest* terhadap skor maksimum yang mungkin diraih siswa. Rumus yang diterapkan dalam penghitungan ini adalah sebagai berikut:

$$(<g>) = \frac{(\text{Skor Posttest} - \text{Skor Pretest})}{(100 - \text{Skor Pretest})} \times 100\%$$

Nilai N-Gain dibagi menjadi tiga kriteria/kategori:

Tabel 1. Kriteria Interpretasi Skor N-Gain

Skor N-Gain	Kriteria Interpretasi
$(<g>) < 0,3$	Rendah
$0,3 \leq (<g>) < 0,7$	Sedang
$(<g>) \geq 0,7$	Tinggi

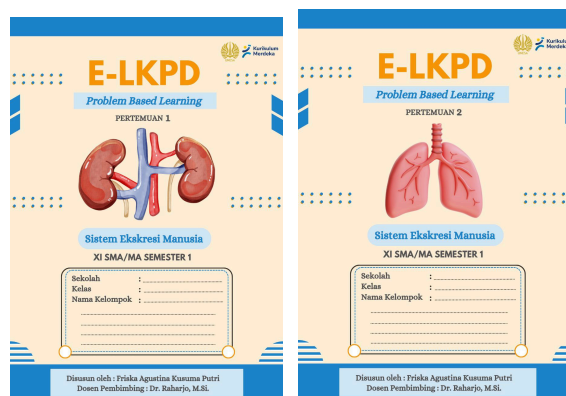
(Diadaptasi dari: Hake, 1999)

Keefektifan E-LKPD dalam penelitian ini terpenuhi jika skor rata-rata N-Gain keterampilan berpikir kritis berada pada rentang kategori sedang atau lebih tinggi, yakni dengan ketentuan $(g \geq 0,3)$, serta ketuntasan setiap indikator berpikir kritis mencapai $\geq 61\%$. Pemilihan pendekatan ini didasarkan pada kemampuannya dalam menggambarkan efektivitas pembelajaran secara proporsional dan lebih sensitif dibandingkan sekadar membandingkan rata-rata skor akhir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan E-LKPD interaktif berbasis PBL pada materi Sistem Ekskresi bertujuan untuk menghasilkan perangkat pembelajaran yang layak dan efektif dalam melatih kemampuan berpikir kritis siswa. Kelayakan tersebut dievaluasi berdasarkan indikator validitas, praktikalitas, serta efektivitas yang didukung oleh data dari hasil uji coba terbatas.

1. Profil E-LKPD



Gambar 1. Tampilan E-LKPD

E-LKPD berbasis *Problem Based Learning* (PBL) pada materi Sistem Ekskresi didesain dalam format digital melalui platform *Liveworksheets* dan disusun dalam dua pertemuan, yaitu submateri ginjal dan paru-paru. Pertemuan pertama menyajikan permasalahan kontekstual mengenai gangguan fungsi ginjal (gagal ginjal yang terjadi pada anak usia dini), sedangkan pertemuan kedua membahas gangguan paru-paru akibat kebiasaan merokok. Permasalahan

tersebut dirancang untuk mengaitkan konsep Sistem Ekskresi dengan fenomena nyata yang dekat dengan kehidupan siswa.

Tampilan E-LKPD berukuran A4 dengan desain sistematis dan dilengkapi video pembelajaran terintegrasi, tautan pengumpulan karya, serta *barcode* visualisasi 3D organ ekskresi yang dapat dipindai siswa untuk mengamati struktur dan fungsi organ secara lebih konkret. E-LKPD memuat fitur-fitur pembelajaran yang merepresentasikan indikator keterampilan berpikir kritis oleh Facione (2015), diantaranya adalah: interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, dan regulasi diri. Fitur-fitur tersebut meliputi *ScanThink*, *DeepFlow*, *CritCheck*, *TraceLogic*, *ClearVoice*, dan *MindTune*. Setiap fitur dirancang mengikuti sintaks PBL mulai dari orientasi masalah, pengumpulan informasi, analisis, penyusunan solusi, presentasi hasil, hingga refleksi pembelajaran. E-LKPD tidak hanya berfungsi sebagai lembar kerja digital, tetapi sebagai perangkat pembelajaran interaktif yang dirancang untuk mendorong keterlibatan aktif dan pengembangan penalaran kritis siswa. Pemanfaatan teknologi digital dalam E-LKPD ini sejalan dengan pandangan konektivisme Siemens yang menempatkan teknologi sebagai bagian penting dalam proses pembelajaran di era digital (Raharjo *et al.*, 2024).

2. Validitas E-LKPD

Validitas E-LKPD interaktif berbasis PBL pada materi Sistem Ekskresi ditentukan melalui penilaian dua validator ahli, yaitu dosen ahli pendidikan dan ahli materi. Penilaian tersebut menitikberatkan pada empat aspek yang berbeda, yaitu kelayakan penyajian, kelayakan isi, kelayakan bahasa, serta kelayakan tampilan dan interaktivitas. Tabel 2 berikut menyajikan rekapitulasi data yang diperoleh dari proses validasi oleh para ahli:

Tabel 2. Rekapitulasi hasil validasi E-LKPD

No.	Aspek Penilaian	Persentase (%)	Kriteria
1.	Kelayakan Penyajian	92,86	Sangat valid
2.	Kelayakan Isi	96,87	Sangat valid
3.	Kelayakan Bahasa	96,87	Sangat valid
4.	Kelayakan Tampilan dan Interaktivitas	95,83	Sangat valid
Rata-rata		95,6	Sangat valid

Hasil perhitungan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa E-LKPD mencapai rata-rata persentase sebesar 95,6%, yang berarti produk ini masuk dalam kategori sangat valid. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa produk telah memenuhi kriteria kelayakan secara konseptual maupun teknis. Menurut Van den Akker *et al.* (2012), validitas dalam penelitian pengembangan merujuk pada sejauh mana suatu produk memiliki dasar teoritis yang kuat serta konsisten dengan tujuan pembelajaran yang dirumuskan. Dengan capaian tersebut, E-LKPD dinyatakan layak untuk dilanjutkan pada tahap uji coba.

Pada aspek kelayakan penyajian diperoleh persentase 92,86% (sangat valid). Struktur E-LKPD dinilai sistematis dan konsisten mengikuti sintaks PBL, mulai dari tahap mengenali orientasi masalah sampai pada sesi evaluasi terhadap seluruh proses pemecahan masalah yang telah dilakukan. Hal tersebut menunjukkan bahwa alur kegiatan telah tersusun runtut sehingga memfasilitasi siswa dalam melalui tahapan pemecahan masalah secara terstruktur, sebagaimana ditegaskan oleh Arends (2012) bahwa implementasi PBL menuntut penyajian tahapan yang logis dan berurutan. Beberapa indikator seperti kerapian penyajian materi, kesesuaian font dan warna, kualitas ilustrasi, serta kejelasan petunjuk memperoleh nilai 3,5 (87,5%). Nilai tersebut tetap dalam kategori sangat valid, namun menunjukkan adanya ruang penyempurnaan pada aspek visual dan teknis. Hal ini sejalan dengan prinsip teknis penyusunan E-LKPD menurut Pawestri dan Zulfiati (2020) dimana menitikberatkan pada aspek tata letak, tipografi, serta visual yang proporsional dalam meningkatkan keterbacaan dan daya tarik media pembelajaran.

Aspek kelayakan isi memperoleh persentase tertinggi sebesar 96,87% (sangat valid). Indikator kesesuaian materi dengan Capaian Pembelajaran, kebenaran konsep ilmiah, serta keterkaitan dengan kehidupan sehari-hari memperoleh penilaian maksimal. Hasil ini membuktikan adanya keselarasan antara konten E-LKPD dengan standar kurikulum serta kebutuhan nyata pada pembelajaran Biologi Fase F. Kejelasan tujuan dan kesesuaian materi menjadi komponen penting dalam desain pembelajaran karena berfungsi sebagai arah dalam penyusunan aktivitas dan evaluasi (Mulyati & Suhara, 2024).

Pada indikator kesesuaian sintaks PBL fase 2–5 diperoleh nilai 3,5 (87,5%). Meskipun tidak seluruhnya memperoleh skor maksimal, kategori tersebut tetap menunjukkan kualitas yang baik dan sistematis. Secara teoretis, PBL menuntut aktivitas investigatif agar siswa membangun pengetahuan melalui pengalaman langsung (Dewey, 2001).

Sehingga, struktur sintaks dalam E-LKPD telah memenuhi karakteristik dasar pembelajaran berbasis masalah, meskipun masih terbuka peluang pengayaan pada kedalaman investigasi.

Selanjutnya, pada kesesuaian isi dengan indikator keterampilan berpikir kritis yang berjumlah enam aspek menurut Facione (2015) memperoleh skor maksimal. Integrasi interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, dan regulasi diri dalam fitur *ScanThink* hingga *MindTune* menunjukkan bahwa E-LKPD tidak hanya menyampaikan konsep, tetapi dirancang untuk melatih penalaran kritis secara sistematis. Hal ini menunjukkan terpenuhinya prinsip konstruktif dalam pengembangan perangkat pembelajaran yang menekankan tujuan yang jelas, urutan logis, dan pertanyaan yang mengarahkan berpikir kritis (Mulyati & Suhara, 2024).

Aspek kelayakan bahasa memperoleh persentase 96,87% (sangat valid). Bahasa dinilai komunikatif, jelas, serta sesuai dengan karakteristik siswa SMA. Pada indikator kesesuaian dengan kaidah EYD diperoleh nilai 3,5 (87,5%), yang menunjukkan perlunya ketelitian kebahasaan meskipun tetap dalam kategori sangat valid. Dalam perspektif Vygotsky (1978), bahasa berperan sebagai alat utama dalam proses internalisasi konsep melalui interaksi sosial. Oleh karena itu, kejelasan bahasa dalam E-LKPD mendukung diskusi, argumentasi, dan refleksi sebagai bagian dari pembelajaran berbasis masalah dan Pembelajaran Mendalam.

Aspek tampilan dan interaktivitas memperoleh persentase 95,83% (sangat valid). Indikator kualitas audio-visual dan tata letak tombol memperoleh skor maksimal, sedangkan keberfungsian fitur interaktif memperoleh nilai 3,5 (87,5%). Hasil ini menunjukkan bahwa media digital yang digunakan telah relevan dan mudah diakses, meskipun stabilitas akses tetap perlu diperhatikan dalam implementasi nyata di kelas. Integrasi visualisasi 3D, video terintegrasi, serta *hyperlink* aktif mendukung pembelajaran melalui berbagai representasi. Hal ini selaras dengan temuan Maulani *et al.* (2022) dan Ervana *et al.* (2022), yang menunjukkan bahwa media digital interaktif beserta visualisasi 3D dinilai efektif dalam memvisualisasikan ide abstrak menjadi lebih jelas dan sistematis bagi siswa.

Berdasarkan hasil validasi secara keseluruhan, capaian validitas sebesar 95,6% menunjukkan bahwa E-LKPD interaktif berbasis PBL pada materi Sistem Ekskresi telah memenuhi kriteria sangat valid pada seluruh aspek penilaian. Produk dinyatakan memiliki kesesuaian antara desain, isi, bahasa, dan landasan teoretis yang melandasinya, sehingga layak untuk dilanjutkan ke tahapan uji kepraktisan beserta keefektifan.

3. Kepraktisan E-LKPD

a. Keterlaksanaan E-LKPD

Tabel 3. Rekapitulasi hasil keterlaksanaan E-LKPD

Aktivitas Peserta Didik	Rata-rata Persentase (%)		Kriteria
	P1	P2	
Pendahuluan – Persiapan Belajar			
1. Siswa membaca pendahuluan dan memahami petunjuk pengerjaan E-LKPD.	92	96	Sangat Praktis
2. Siswa membaca dan memahami tujuan pembelajaran dan alur aktivitas.	92	92	Sangat Praktis
Fase 1 – Orientasi pada Masalah			
3. Siswa memutar video permasalahan autentik.	92	96	Sangat Praktis
4. Siswa mengamati video dan menjawab pertanyaan di fitur <i>ScanThink</i> .	96	100	Sangat Praktis
5. Siswa mengaitkan isi video dengan fungsi organ ekskresi.	96	96	Sangat Praktis
Fase 2 – Mengorganisasi Siswa untuk Belajar			
6. Siswa membentuk kelompok, membagi peran belajar.	100	100	Sangat Praktis
7. Siswa menyusun rencana belajar sesuai petunjuk di E-LKPD.	96	100	Sangat Praktis
Fase 3 – Membimbing Penyelidikan Individu/ Kelompok			
8. Siswa melakukan aktivitas fase 3 sesuai prosedur di E-LKPD.	100	92	Sangat Praktis
9. Siswa menjawab pertanyaan analisis di fitur <i>DeepFlow</i> .	96	96	Sangat Praktis
10. Siswa mencari artikel ilmiah terkait topik yang diperintahkan dalam E-LKPD.	96	100	Sangat Praktis
11. Siswa mengerjakan pertanyaan evaluasi (<i>CritCheck</i>).	96	96	Sangat Praktis
12. Siswa mengerjakan pertanyaan inferensi (<i>TraceLogic</i>).	100	100	Sangat Praktis

Aktivitas Peserta Didik	Rata-rata Persentase (%)		Kriteria
	P1	P2	
Fase 4 – Mengembangkan dan Menyajikan Hasil Karya			
13. Siswa membuat karya edukatif mengenai pentingnya menjaga kesehatan ekskresi (<i>ClearVoice</i>).	100	100	Sangat Praktis
Fase 5 – Menganalisis dan Mengevaluasi Proses Pemecahan Masalah			
14. Siswa menyimpulkan dan mengisi refleksi pembelajaran (<i>MindTune</i>).	96	96	Sangat Praktis
Rata-rata keterlaksanaan E-LKPD	96,28	97,1	Sangat Praktis
Rata-rata keseluruhan	96,7		Sangat Praktis

Keterangan: P1 = Pertemuan 1

P2 = Pertemuan 2

Kepraktisan dalam penelitian pengembangan merujuk pada tingkat kemudahan penggunaan produk dalam pembelajaran. Menurut Van den Akker *et al.* (2012), suatu produk dikatakan praktis apabila dapat digunakan oleh pengguna sesuai dengan rancangan tanpa mengalami hambatan dalam implementasinya. Kepraktisan tidak hanya berkaitan dengan aspek teknis, tetapi juga mencakup keterlaksanaan sintaks pembelajaran, kejelasan instruksi, serta kesesuaian alur kegiatan yang dirancang.

Dalam penelitian ini, kepraktisan E-LKPD diukur melalui keterlaksanaan aktivitas siswa selama dua kali pertemuan pembelajaran. Observasi dilakukan pada setiap tahapan pembelajaran sesuai sintaks *Problem Based Learning* (PBL), mulai dari tahap pendahuluan hingga refleksi akhir. Uji coba terbatas melibatkan 25 siswa yang terbagi dalam lima kelompok dan diamati oleh lima observer.

Berdasarkan Tabel 3, E-LKPD pada pertemuan awal mencatatkan rata-rata keterlaksanaan sebesar 96,28%, yang kemudian meningkat menjadi 97,1% pada pertemuan kedua, di mana keduanya tetap berada pada kriteria sangat praktis. Hasil akhir menunjukkan bahwa rata-rata keterlaksanaan E-LKPD secara keseluruhan sebesar 96,7%, sehingga produk ini dapat dikategorikan sebagai media yang sangat praktis. Capaian persentase yang tinggi tersebut merefleksikan bahwa tiap tahapan pembelajaran dalam E-LKPD telah diimplementasikan oleh siswa secara optimal sesuai dengan urutan sintaks PBL yang direncanakan.

Pada tahap pendahuluan, keterlaksanaan aktivitas membaca pendahuluan serta memahami tujuan dan alur kegiatan berada pada rentang 92–96% dan seluruhnya termasuk ke dalam kriteria sangat praktis. Persentase tersebut mengindikasikan bahwa instruksi pada E-LKPD disusun secara sistematis dan komunikatif sehingga dapat dipahami siswa dengan baik. Dalam sintaks PBL, tahap awal berfungsi mengorientasikan siswa terhadap tujuan dan aktivitas pembelajaran (Arends, 2012). Kejelasan struktur pada tahap ini penting agar siswa memiliki gambaran menyeluruh sebelum memasuki tahap pemecahan masalah. Hal tersebut sejalan dengan pandangan Bruner (1960) yang menggarisbawahi pentingnya struktur materi dan kesiapan belajar agar siswa mampu membangun pengetahuan secara mandiri.

Pada fase orientasi terhadap masalah, keterlaksanaan aktivitas berada pada rentang 92–100%. Siswa mampu memutar video permasalahan autentik, mengamati fenomena, serta menjawab pertanyaan interpretasi melalui fitur *ScanThink*. Aktivitas ini merupakan implementasi sintaks pertama PBL, yaitu mengorientasikan siswa pada masalah sebagai titik awal pembelajaran (Arends, 2012). Kemampuan siswa mengaitkan informasi dari video dengan konsep Sistem Ekskresi yang dipelajari menunjukkan terjadinya proses pembelajaran bermakna, sebagaimana dikemukakan oleh Ausubel (1968), bahwa informasi baru akan lebih mudah dipahami apabila dihubungkan dengan struktur kognitif yang telah dimiliki sebelumnya.

Pada fase mengorganisasi siswa untuk belajar, indikator membentuk kelompok dan membagi peran mencapai 100% pada kedua pertemuan, sedangkan indikator penyusunan rencana belajar meningkat dari 96% menjadi 100%. Hasil ini menunjukkan bahwa siswa mampu mengorganisasi tugas secara kolaboratif sesuai petunjuk dalam E-LKPD. Aktivitas diskusi dan pembagian peran mencerminkan konstruksi pengetahuan secara sosial, sesuai dengan teori sosial konstruktivisme Vygotsky (1978), pembelajaran dipandang sebagai hasil dari interaksi sosial yang kemudian diproses menjadi pemahaman individual. Situasi ini menggambarkan adanya dukungan antaranggota kelompok dalam menyelesaikan tugas, yang sesuai dengan konsep Zona Perkembangan Proksimal (ZPD).

Pada fase membimbing penyelidikan individu maupun kelompok, keterlaksanaan aktivitas berada pada rentang 92–100% dengan kategori sangat praktis. Siswa mampu melaksanakan simulasi atau analisis fenomena, mencari artikel

pendukung, serta mengerjakan pertanyaan analisis (*DeepFlow*), evaluasi (*CritCheck*), dan inferensi (*TraceLogic*). Rangkaian aktivitas tersebut melatih indikator berpikir kritis sesuai kerangka yang dikemukakan oleh Facione (2015), yaitu analisis, evaluasi, dan inferensi. Secara kognitif, ketika siswa mengolah hasil praktikum atau fenomena yang diamati, terjadi proses penyesuaian struktur pengetahuan sebagaimana dijelaskan dalam konsep ekuilibriasi Piaget (1952), sehingga terbentuk pemahaman yang lebih stabil.

Pada fase mengembangkan dan menyajikan hasil karya, indikator eksplanasi (*ClearVoice*) memperoleh persentase 100% pada kedua pertemuan. Seluruh kelompok mampu menyusun produk edukatif sesuai instruksi E-LKPD. Aktivitas ini menuntut siswa untuk mengorganisasi hasil penyelidikan dan mengomunikasikannya secara sistematis. Dalam perspektif konstruktivisme sosial, komunikasi hasil karya merupakan sarana internalisasi konsep melalui bahasa dan interaksi (Vygotsky, 1978). Hal tersebut merefleksikan bahwa E-LKPD tidak sekadar menunjang proses investigasi, melainkan juga memicu pengembangan kompetensi komunikasi ilmiah siswa.

Pada tahap analisis dan evaluasi pemecahan masalah, indikator menyimpulkan materi dan refleksi melalui fitur MindTune memperoleh persentase 96% pada kedua pertemuan. Konsistensi ini menunjukkan bahwa siswa mampu melakukan refleksi pembelajaran secara terstruktur. Dalam PBL, tahap evaluasi dan refleksi berperan penting untuk memastikan bahwa pemecahan masalah menghasilkan pemahaman mendalam, bukan sekadar penyelesaian tugas (Arends, 2012). Refleksi juga mendukung terjadinya aktivitas metakognitif yang memperkuat integrasi konsep dalam struktur kognitif siswa.

Berdasarkan keseluruhan hasil keterlaksanaan, rata-rata sebesar 96,7% menunjukkan bahwa E-LKPD interaktif berbasis PBL pada materi Sistem Ekskresi yang dikembangkan sangat praktis dan dapat diimplementasikan sesuai sintaks yang dirancang. Produk yang dikembangkan tidak hanya memenuhi kriteria validitas secara konseptual, tetapi juga terbukti praktis dalam pelaksanaan pembelajaran serta menunjang keterlibatan siswa secara intensif dan stimulasi keterampilan berpikir kritis sebagai fokus dari penelitian.

b. Respons Siswa terhadap E-LKPD

Tabel 4. Rekapitulasi hasil respons siswa

No	Aspek Penilaian	Persentase (%)	Kriteria
1.	Kepraktisan	99	Sangat positif
2.	Keterbacaan dan Tampilan	98,66	Sangat positif
3.	Kualitas Isi dan Kegiatan	100	Sangat positif
Rata-rata		99,22	Sangat positif

Berdasarkan Tabel 4, respons siswa terhadap E-LKPD interaktif berbasis PBL dianalisis melalui angket yang mencakup tiga aspek, yaitu kepraktisan, keterbacaan dan tampilan, serta kualitas isi dan kegiatan pembelajaran. Dalam penelitian pengembangan, respons siswa merupakan bagian dari evaluasi kepraktisan produk. Van den Akker *et al.* (2012) menyatakan bahwa perangkat pembelajaran dikatakan praktis apabila mudah digunakan dan memperoleh penerimaan positif dalam implementasi nyata. Oleh karena itu, respons siswa menjadi indikator tingkat penerimaan (*acceptability*) produk. Hasil rekapitulasi menunjukkan rata-rata respons keseluruhan sebesar 99,22% yang masuk ke dalam kategori sangat positif. Hal tersebut mengindikasikan E-LKPD diterima dengan sangat baik dalam pembelajaran Sistem Ekskresi.

Ditinjau pada aspek kepraktisan, skor rata-rata yang diraih mencapai 99% sehingga masuk dalam kategori sangat positif. Seluruh siswa menyatakan E-LKPD mudah diakses, memiliki petunjuk yang jelas, serta mendukung belajar mandiri. Pada indikator pengerjaan tanpa kesulitan teknis, 24 siswa menjawab “Ya” dan 1 siswa menjawab “Tidak” akibat gangguan jaringan internet saat mengirim jawaban melalui *Liveworksheets*. Kendala tersebut bersifat eksternal dan tidak berkaitan dengan desain produk. Hasil ini membuktikan bahwa E-LKPD telah memenuhi prinsip *usability* (Van den Akker *et al.*, 2012) serta didukung instruksi yang sistematis. Hasil ini juga sejalan dengan Purwantini dan Lestari (2021) yang menyatakan bahwa perangkat PBL dengan petunjuk terstruktur memperoleh respons positif dari siswa.

Pada aspek keterbacaan dan tampilan, diperoleh rata-rata 98,66% dengan kriteria sangat positif. Sebanyak 24 siswa menilai tampilan menarik dan mudah dinavigasi. Seluruh siswa menyatakan tulisan, gambar, serta fitur interaktif seperti video dan QR code visualisasi 3D membantu memahami materi. Visualisasi 3D pada ginjal dan paru-paru mempermudah siswa untuk memvisualisasikan konsep abstrak menjadi representasi yang lebih konkret dan jelas

sehingga memperkuat pemahaman struktur dan fungsi organ ekskresi. Hal tersebut juga sejalan dengan penelitian oleh Ervana *et al.* (2022), hasil ini membuktikan bahwa integrasi visualisasi 3D merupakan perangkat pembelajaran yang ampuh untuk meningkatkan kualitas penguasaan konsep siswa.

Pada aspek kualitas isi dan kegiatan pembelajaran, diperoleh persentase 100% dengan kriteria sangat positif. Seluruh siswa menyatakan bahwa kasus yang disajikan sangat relevan dengan fenomena nyata yang terjadi di kehidupan sehari-hari, mempermudah dalam memahami fungsi organ ekskresi, serta mendorong berpikir kritis melalui diskusi dan analisis informasi. Hal ini menunjukkan bahwa sintaks PBL dalam E-LKPD berjalan optimal. Menurut Arends (2012), model pembelajaran PBL mengonstruksi kerangka berpikir tingkat tinggi siswa melalui penyajian masalah autentik yang kontekstual.

Berdasarkan hasil respons siswa secara keseluruhan, rata-rata respons sebesar 99,22% menunjukkan bahwa E-LKPD interaktif berbasis PBL memperoleh penerimaan yang sangat baik. Berdasarkan karakteristik E-LKPD menurut Julianti dan Efriani (2025), perangkat yang dikembangkan telah memenuhi kriteria sebagai lembar kerja digital yang interaktif, sistematis, dan mudah diakses. E-LKPD tidak hanya praktis digunakan, tetapi juga efektif mendukung pembelajaran berbasis masalah dan penguatan keterampilan berpikir kritis sesuai tujuan penelitian.

4. Keefektifan E-LKPD

a. Hasil Belajar Siswa

Tabel 5. Hasil *pretest* dan *posttest* beserta skor N-Gain

Siswa	Pre-test		Post-test		N-Gain	
	Nilai	Ket.	Nilai	Ket.	Skor	Kriteria
A1	70,83	TT	91,67	T	0,71	Tinggi
A2	33,33	TT	87,50	T	0,81	Tinggi
A3	33,33	TT	87,50	T	0,81	Tinggi
A4	50	TT	75	T	0,50	Sedang
A5	20,83	TT	91,67	T	0,89	Tinggi
A6	29,17	TT	95,83	T	0,94	Tinggi
A7	54,17	TT	95,83	T	0,91	Tinggi
A8	41,67	TT	95,83	T	0,93	Tinggi
A9	58,33	TT	79,17	T	0,50	Sedang
A10	58,33	TT	91,67	T	0,80	Tinggi
A11	25	TT	91,67	T	0,89	Tinggi
A12	50	TT	95,83	T	0,92	Tinggi
A13	70,83	TT	95,83	T	0,86	Tinggi
A14	45,83	TT	75	T	0,54	Sedang
A15	70,83	TT	100	T	1,00	Tinggi
A16	54,17	TT	87,5	T	0,73	Tinggi
A17	33,33	TT	100	T	1,00	Tinggi
A18	37,5	TT	87,5	T	0,80	Tinggi
A19	62,5	TT	95,83	T	0,89	Tinggi
A20	20,83	TT	95,83	T	0,95	Tinggi
A21	54,17	TT	95,83	T	0,91	Tinggi
A22	83,33	T	100	T	1,00	Tinggi
A23	45,83	TT	79,17	T	0,62	Sedang
A24	54,17	TT	87,5	T	0,73	Tinggi
A25	62,5	TT	87,5	T	0,67	Sedang
Rata-rata 48,83		Rata-rata 90,67		0,81	Tinggi	
Ketuntasan 4%		Ketuntasan 100%				

Keterangan: T = Tuntas

TT = Tidak Tuntas

A1 = Siswa 1

Keefektifan E-LKPD interaktif berbasis PBL dianalisis melalui perbandingan hasil skor *pretest-posttest* serta perhitungan skor N-Gain untuk mengukur sejauh mana peningkatan keterampilan berpikir kritis yang dicapai oleh siswa pada materi Sistem Ekskresi. Dalam penelitian pengembangan, suatu perangkat dinyatakan efektif apabila



implementasinya memberikan dampak signifikan terhadap capaian belajar sesuai tujuan yang dirancang (Van den Akker *et al.*, 2012).

Berdasarkan Tabel 5, nilai rata-rata *pretest* siswa sebesar 48,83 dengan persentase ketuntasan hanya 4% (1 siswa tuntas). Rendahnya capaian awal tersebut membuktikan bahwa rata-rata nilai siswa masih di bawah KKTP sebesar 75 sebelum pembelajaran (penerapan E-LKPD). Selanjutnya setelah penerapan E-LKPD berbasis PBL, perolehan rata-rata *posttest* mengalami kenaikan menjadi 90,67 disertai capaian ketuntasan sebesar 100% (25 siswa tuntas). Peningkatan ini menandakan bahwa seluruh siswa berhasil menuntaskan capaian belajarnya setelah mengikuti pembelajaran menggunakan E-LKPD.

Hasil perhitungan N-Gain secara kuantitatif menunjukkan rata-rata 0,81 pada klasifikasi tinggi, dengan profil peningkatan siswa mayoritas berada di kategori tinggi dan tidak ditemukan siswa pada kategori rendah. Berdasarkan klasifikasi Hake (1999), nilai N-Gain $\geq 0,7$ menunjukkan efektivitas pembelajaran yang tinggi dalam meningkatkan pemahaman konseptual. Sehingga, penggunaan E-LKPD yang dikembangkan terbukti mampu memberikan kontribusi positif dalam menaikkan hasil belajar siswa.

Peningkatan yang signifikan ini menunjukkan bahwa integrasi sintaks PBL dalam E-LKPD mampu memfasilitasi proses pembelajaran yang lebih bermakna melalui penyajian masalah autentik, diskusi kelompok, serta analisis solusi. Temuan ini sejalan dengan penelitian Hisbiyah dan Qomariyah (2024) serta Azrina dan Sandika (2022) yang menyatakan bahwa penerapan LKPD berbasis PBL mampu memberikan dampak signifikan terhadap kenaikan hasil belajar dan keterampilan berpikir kritis siswa pada pembelajaran Biologi. Berdasarkan hasil keseluruhan, peningkatan nilai rata-rata dari 48,83 menjadi 90,67 serta capaian N-Gain kategori tinggi (0,81) mengindikasikan bahwa implementasi E-LKPD interaktif berbasis PBL memberikan kontribusi positif serta efektif dalam meningkatkan hasil belajar siswa pada materi Sistem Ekskresi.

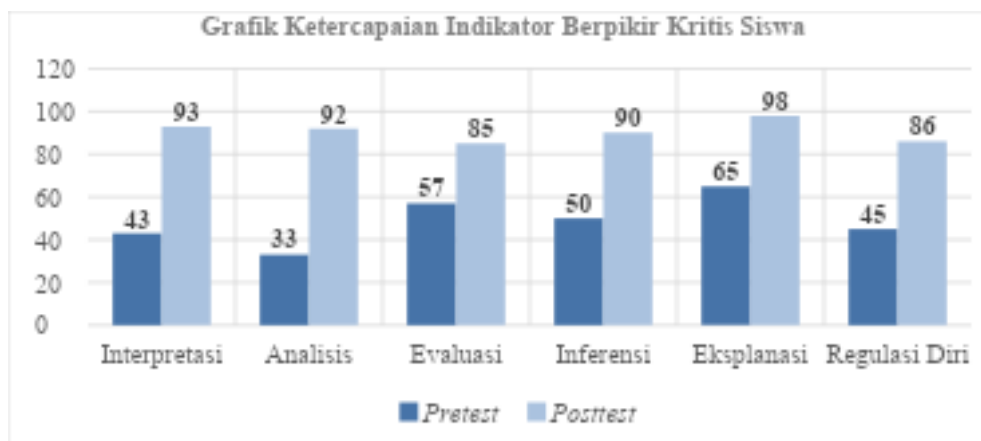
b. Ketercapaian Indikator Berpikir Kritis

Selain ditinjau dari peningkatan hasil belajar, keefektifan E-LKPD juga dianalisis berdasarkan pencapaian setiap indikator keterampilan berpikir kritis. Hasil analisis pencapaian indikator keterampilan berpikir kritis disajikan pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 6. Hasil ketercapaian indikator berpikir kritis

No	Indikator	Rata-rata (%)		N-Gain	Kriteria
		<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>		
1	Interpretasi	43	93	0,88	Tinggi
2	Analisis	33	92	0,88	Tinggi
3	Evaluasi	57	85	0,65	Sedang
4	Inferensi	50	90	0,80	Tinggi
5	Eksplanasi	65	98	0,94	Tinggi
6	Regulasi Diri	45	86	0,75	Tinggi
Rata-rata		48,83	90,67	0,81	Tinggi

Berikut grafik ketercapaian indikator berpikir kritis siswa:



Gambar 2. Grafik Ketercapaian Indikator Berpikir Kritis

Keefektifan E-LKPD juga diperkuat melalui analisis ketercapaian indikator keterampilan berpikir kritis berdasarkan Facione (2015). Berdasarkan Tabel 6, seluruh indikator mengalami kenaikan yang signifikan dari tahap *pretest* ke tahap *posttest*. Indikator interpretasi meningkat dari 43% menjadi 93% dengan perolehan nilai N-Gain sebesar 0,88 yang diklasifikasikan pada kategori tinggi. Pada *pretest*, siswa menganalisis artikel ilmiah tentang gangguan ginjal, namun sebagian jawaban masih umum dan belum mengaitkan struktur spesifik dengan fungsi filtrasi. Pada *posttest*, siswa mampu mengidentifikasi bagian seperti glomerulus atau membran filtrasi serta menjelaskan dampaknya terhadap penumpukan zat sisa metabolisme secara runtut. Hal ini menunjukkan bahwa soal berbasis artikel ilmiah efektif melatih kemampuan menafsirkan informasi secara kontekstual.

Indikator analisis meningkat dari 33% menjadi 92% dengan N-Gain 0,88 (tinggi). Pada *pretest*, siswa belum mampu menjelaskan secara tepat hubungan protein dalam urine dengan selektivitas membran filtrasi. Pada *posttest*, siswa mampu menguraikan bahwa glomerulus berfungsi sebagai penyaring selektif sehingga molekul besar tidak lolos filtrasi normal. Peningkatan ini menunjukkan efektivitas penyajian masalah autentik melalui fitur *ScanThink* dan aktivitas analisis *DeepFlow* dalam sintaks PBL. Hasil tersebut selaras dengan temuan Lubis (2022) yang menegaskan bahwa LKPD berbasis PBL mampu melatih siswa mengaitkan struktur dan fungsi organ secara sistematis melalui penyajian masalah autentik. Kemudian juga ditegaskan Arends (2012) bahwa tahap orientasi dan investigasi dalam PBL mendorong klarifikasi fakta dan analisis sistematis.

Indikator eksplanasi memperoleh capaian tertinggi, meningkat dari 65% menjadi 98% dengan N-Gain 0,94 (tinggi). Pada *pretest*, penjelasan tentang dampak merokok terhadap paru-paru masih umum. Pada *posttest*, siswa mampu menjelaskan mekanisme biologis secara argumentatif, seperti pengaruh tar terhadap alveolus, produksi lendir, serta gangguan difusi oksigen dan karbon dioksida. Aktivitas presentasi solusi dalam bentuk poster dan video edukatif memperkuat kemampuan komunikasi ilmiah siswa. Dalam perspektif Vygotsky (1978), interaksi sosial berperan dalam internalisasi konsep dan penguatan struktur kognitif.

Indikator inferensi meningkat dari 50% menjadi 90% dengan N-Gain 0,80 (tinggi). Jawaban awal masih berupa solusi umum tanpa alasan biologis. Setelah pembelajaran berbasis PBL, siswa mampu menarik kesimpulan preventif yang dikaitkan dengan mekanisme fisiologis, seperti hubungan kerusakan alveolus dengan penurunan luas permukaan pertukaran gas. Hal ini menunjukkan berkembangnya kemampuan menyimpulkan secara logis berbasis hubungan sebab-akibat.

Indikator regulasi diri mengalami kenaikan dari 45% ke angka 86% dengan perolehan N-Gain sebesar 0,75 (tinggi). Pada *pretest*, jawaban belum menunjukkan tahapan berpikir sistematis. Pada *posttest*, siswa mampu merefleksikan kembali solusi yang dibuat dan mencocokkannya dengan prinsip struktur dan fungsi organ. Peningkatan ini menunjukkan berkembangnya kesadaran metakognitif siswa dalam mengontrol proses berpikir, selaras dengan karakter Pembelajaran Mendalam yang menekankan refleksi dan kesadaran belajar.

Sementara itu, indikator evaluasi menunjukkan peningkatan dari 57% menjadi 85% dengan nilai N-Gain pada angka 0,65 (kategori sedang). Pada *pretest*, penilaian terhadap gaya hidup kurang sehat masih umum dan belum mengaitkan mekanisme fisiologis seperti beban kerja nefron atau keseimbangan cairan. Pada *posttest*, argumentasi lebih berbasis konsep, meskipun kedalaman pertimbangan belum merata. Secara kognitif, evaluasi berada pada level C5 yang menuntut penimbangan bukti dan pengambilan keputusan berbasis alasan ilmiah (Facione, 2015), sehingga memerlukan pembiasaan yang lebih berkelanjutan.

Berdasarkan pada tingkat ketercapaian parameter berpikir kritis secara keseluruhan, rata-rata N-Gain sebesar 0,81 yang termasuk ke dalam kategori tinggi, merefleksikan bahwa implementasi E-LKPD interaktif berbasis PBL efektif terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa pada materi Sistem Ekskresi. Hal ini relevan dengan hasil penelitian Hutabalian dan Edi (2025) yang menegaskan bahwa integrasi model PBL berkontribusi besar dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa pada materi Sistem Ekskresi. Secara konseptual, integrasi sintaks PBL dengan prinsip Pembelajaran Mendalam memperkuat pemahaman konseptual sekaligus mengembangkan penalaran kritis siswa melalui pemecahan masalah autentik.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengembangan, E-LKPD interaktif berbasis *Problem Based Learning* (PBL) melalui pendekatan Pembelajaran Mendalam pada materi Sistem Ekskresi dinyatakan layak dan efektif untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa kelas XI SMA. Produk memperoleh tingkat validitas sebesar 95,6% yang termasuk dalam kriteria sangat valid. Produk dinyatakan sangat praktis dengan tingkat keterlaksanaan pembelajaran yang



mencapai skor rata-rata 96,7% dan respons siswa sebesar 99,22% dengan kategori sangat positif yang menunjukkan tingkat kepraktisan sangat tinggi. Dari aspek keefektifan dinyatakan sangat efektif dimana terdapat peningkatan skor rata-rata keterampilan berpikir kritis dari 48,83% (*pretest*) menjadi 90,67% (*posttest*) dan skor N-Gain yang mencapai angka 0,81 (kategori tinggi). Hasil tersebut mengindikasikan bahwa model PBL yang dipadukan dengan fitur interaktif digital dalam kerangka Pembelajaran Mendalam mampu memfasilitasi pengembangan enam indikator berpikir kritis secara sistematis dan signifikan. Maka, dapat disimpulkan bahwa E-LKPD yang telah didesain sudah memenuhi kriteria layak dalam aspek validitas, kepraktisan, dan keefektifan sebagai perangkat pembelajaran Biologi yang kontekstual dan inovatif.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar pengembangan selanjutnya lebih mengoptimalkan indikator berpikir kritis pada aspek evaluasi yang masih berada pada kategori sedang dengan merancang stimulus dan aktivitas yang lebih menantang kemampuan penilaian dan pengambilan keputusan siswa. Selain itu, perlu diantisipasi kendala teknis penggunaan E-LKPD berbasis *Liveworksheets* yang belum memiliki fitur penyimpanan otomatis dengan menyediakan alternatif penyimpanan jawaban atau menggunakan aplikasi ataupun *platform* dengan fitur *auto-save*. Pengelolaan waktu pembelajaran juga perlu dipertimbangkan secara lebih proporsional, mengingat siswa memerlukan waktu lebih dalam membaca dan menganalisis stimulus masalah kontekstual agar proses pembelajaran berlangsung optimal

Ucapan Terima Kasih

Ungkapan terima kasih penulis sampaikan kepada Dr. Raharjo, M.Si. yang telah memberikan masukan konstruktif dan bimbingan teknis dalam penyusunan karya ilmiah ini. Selain itu, penulis berterima kasih kepada pihak SMA Negeri 7 Surabaya atas kesempatan dan bantuan yang diberikan selama proses pengambilan data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinda, T. (2024). Pengembangan Modul Digital Sistem Ekskresi Berbasis *Problem Based Learning* dan Multi Representasi (PBL-MRs) pada Siswa Kelas XI (*Doctoral Dissertation, UIN Raden Intan Lampung*).
- Arends, R. I. (2012). *Learning to Teach*, Ninth Edition. *Americas, New York: McGraw-Hill Companies, Inc.*
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. *New Cork. Holt, Reine Hart and Wilson.*
- Azrina, N., & Sandika, B. (2022). Pengembangan E-LKPD Berbasis *Problem Based Learning* untuk Melatih Keterampilan Berpikir Kritis Siswa pada Materi Sistem Pernapasan Kelas XI IPA di MAN 2 Jember. *ALVEOLI: Jurnal Pendidikan Biologi*, 3(2), 1-13.
- Bruner, J. S. (1960). *The Process of Education*. *Harvard University Press.*
- Campbell, N. A., Reece, J. B., & Mitchell, L. G. (2010). *Biologi* (Edisi 8, Jilid 3). *Jakarta: Erlangga.*
- Dewey, J. (2001). *Democracy and Education*. *Pennsylvania State University.*
- Ervana, D. S., Raharjo, R., & Munasir, M. (2022). The Effectiveness 3D Models Online Modules to Practice Mastery of Solar System Conceptual Knowledge. *IJORE: International Journal of Recent Educational Research*, 3(2), 162-181.
- Facione, P. A. (2015). Critical Thinking: What it is and Why it Counts. *Insight Assessment*, 1(1), 1-30.
- Fitria, L., & Ambarwati, R. (2024). Profil Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMA di Surabaya. *In Seminar Nasional Inovasi Penelitian dan Pembelajaran Biologi* (Vol. 8, pp. 61-66).
- Hake, R. R. (1999). Analyzing Change/Gain Scores. *Dept. of Physics Indiana University*. 1(1), 1-4.
- Hisbiyah, N. A. Y., & Qomariyah, N. (2024). Validitas LKPD Berbasis *Problem Based Learning* (PBL) pada Materi Sistem Ekskresi untuk Melatihkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 13(2), 434-444.
- Hutabalian, P. M., & Edi, S. (2025). Pengaruh Model PBL terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Materi Sistem Ekskresi Kelas XI IPA SMAS Budi Mulia Pematangsiantar. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 15(3), 1070-1076.
- Julianti, D., & Efriani, A. (2025). Transformasi Pembelajaran Interaktif Berbasis Budaya Lokal. *Bening Media Publishing*. 3-7.

- Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah Republik Indonesia. (2025). Naskah Akademik Pembelajaran Mendalam: Menuju Pendidikan Bermutu untuk Semua. *Jakarta: Pusat Kurikulum dan Pembelajaran, Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan.*
- Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah Republik Indonesia. (2025). Peraturan Menteri Pendidikan Dasar dan Menengah Nomor 13 Tahun 2025 tentang Perubahan atas Permendikbudristek Nomor 12 Tahun 2024 tentang Kurikulum pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Menengah. *Jakarta: Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah Republik Indonesia.*
- Lubis, R. R. (2022). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Berbasis *Problem Based Learning* pada Materi Sistem Ekskresi Kelas XI SMA (*Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara*).
- Maulani, J., Kelana, J. B., & Jayadinata, A. K. (2022). Pengembangan LKPD Berbantuan *Liveworksheet* untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep IPA Siswa Kelas IV SD. *Jurnal Profesi Pendidikan*, 1(2), 106-123.
- Mulyati, A. & Suhara, A. M., (2024). Perencanaan Pembelajaran Bahasa Indonesia. *CV Jejak (Jejak Publisher)*. 110-118.
- Pawestri, E., & Zulfati, H. M. (2020). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) untuk Mengakomodasi Keberagaman Siswa pada Pembelajaran Tematik Kelas II di SD Muhammadiyah Danunegaran. *Trihayu: Jurnal Pendidikan Ke-SD-an*, 6(3), 903-913.
- Piaget, J. (1952). The Origins of Intelligence in Children. *International Universities Press.*
- Purnamaningsih, I. R., & Purbangkara, T. (2022). Pengelolaan Sarana dan Prasarana Pendidikan dalam Meningkatkan Kualitas Pembelajaran. *Uwais Inspirasi Indonesia.*
- Purwantini, O. D., & Lestari, W. (2021). The implementation of evaluation in *Science learning* based on *Problem Based Learning* (PBL) for 3rd graders during Covid-19 pandemic outbreak. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar UNISSULA*, 8(2), 146-158.
- Raharjo, Susantini, E., Prastiwi, M. S., & Yakub, P. (2024). Mengoptimalkan Potensi Diri dengan Teori Belajar Terkini. *Unesa University Press.*
- Riduwan. (2015). Skala Pengukuran Variabel-Variabel Penelitian. *Bandung: Alfabeta.*
- Sari, R. F., Maulidiah, S. S. F., Agustin, L. N. D., & Novita, D. (2025). Validity of E-LAPD Based on The *Learning Cycle 7-E Model* to Improve Critical Thinking Skills Oriented to Multiple Chemical Representations in Reaction Rate Factors Submaterial. *JCER (Journal of Chemistry Education Research)*, 9(1), 21-28.
- Siswanti, A. B., & Indrajit, R. E. (2023). *Problem Based Learning*. Penerbit Andi, books.google.com.
- Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. *Bandung: Alfabeta.*
- Sugiharti, N., & Gayatri, Y. (2021). Profil Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMA Muhammadiyah Kota Surabaya pada Pembelajaran Biologi. *Pedago Biologi: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Biologi*, 9(1), 34-40.
- Thiagarajan, S., Semmel, D. S & Semmel, M. I. 1974. Instructional Development for Training Teachers of Expectional Children. *Minneapolis, Minnesota: Leadership Training Institute/Special Education, University of Minnesota.*
- Van den Akker, J., Branch, RM, Gustafson, K., Nieveen, N., & Plomp, T. (Eds.). (2012). Design Approaches and Tools in Education and Training. *Springer Science & Business Media.*
- Vygotsky, L. S. (1978). Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Soubberman, Eds.). *Harvard University Press.*