

PENGEMBANGAN LKPD BERBASIS LABORATORIUM VIRTUAL UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN BERPIKIR KOMPUTASIONAL PADA MATERI PEWARISAN SIFAT

Development of Virtual Laboratory Based Student Worksheets to Improve Computational Thinking Skills in Inheritance Material

Iviana Nur Aulia

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

E-mail: iviana22098@mh.unesa.ac.id

Rinie Pratiwi Puspitawati

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

E-mail: riniepratiwi@unesa.ac.id

Fitriari Izzatunnisa Muhaimin

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

E-mail: fitriarimuhaimin@unesa.ac.id

Corresponding author: riniepratiwi@unesa.ac.id

Abstrak

Perkembangan era digital menuntut peserta didik memiliki kemampuan tingkat tinggi, salah satunya keterampilan berpikir komputasional yang berperan penting dalam pembelajaran sains, khususnya biologi. Namun, implementasi berpikir komputasional dalam pembelajaran pada materi pewarisan sifat di sekolah masih belum optimal karena karakteristik materi yang abstrak dan keterbatasan media pembelajaran. Tujuan penelitian ini untuk menghasilkan LKPD (Lembar Kerja Peserta Didik) berbasis laboratorium virtual *FlyLab JS* pada materi pewarisan sifat serta menguji kualitasnya berdasarkan aspek validitas, kepraktisan, dan keefektifan. Penelitian menggunakan metode R&D (*Research and Development*) melalui model pengembangan 4D (*define, design, develop, disseminate*). Sasaran penelitian adalah peserta didik kelas XII MIPA SMAN Jogoroto sebanyak 25 orang. Validitas LKPD dinilai berdasarkan hasil validasi oleh ahli media, ahli materi dan guru Biologi. Kepraktisan ditentukan dari hasil observasi dan respon peserta didik. Keefektifan diperoleh dari hasil belajar peserta didik melalui *pre-test* dan *post-test*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LKPD yang dihasilkan menunjukkan tingkat validitas sangat valid dengan skor rata-rata 3,83. Kepraktisan LKPD ditunjukkan oleh keterlaksanaan aktivitas pembelajaran sebesar 97,82% dan respons positif peserta didik sebesar 96,73%. Keefektifan LKPD terlihat dari meningkatnya kemampuan berpikir komputasional dengan *N-gain* rata-rata 0,78 dalam kategori tinggi serta peningkatan hasil belajar kognitif dengan ketuntasan mencapai 100%. Seluruh indikator berpikir komputasional mengalami peningkatan, dengan indikator algoritma memperoleh *N-gain* paling rendah sebesar 0,69 dalam kategori sedang. Dengan demikian, LKPD berbasis laboratorium virtual *FlyLab JS* dinyatakan valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan kemampuan berpikir komputasional peserta didik pada materi pewarisan sifat.

Kata Kunci: LKPD, Laboratorium Virtual, *FlyLab JS*, Berpikir Komputasional, Pewarisan Sifat

Abstract

The development of the digital era requires students to possess higher order skills, particularly computational thinking, which plays a crucial role in science learning in biology. However, the implementation of computational thinking in teaching heredity concepts in schools remains limited due to the abstract nature of the material and limited availability of instructional media. This study aims to produce a student worksheet based on the *FlyLab JS* laboratory for heredity topics and to examine its quality in terms of validity, practicality, and effectiveness. The research uses the Research and Development method through the 4D (*define, design, develop, and disseminate*) development model. The research subjects were 25 students from the twelfth grade science class at SMAN Jogoroto. The validity of the student worksheet is determined based on validation results from media experts, material experts, and Biology teachers. Practicality is determined through observations of learning implementation and student responses. Effectiveness is measured using students' learning outcomes obtained from *pre-tests* and *post-tests*. The results show that the student worksheet demonstrates high validity with an average score of 3.83. Practicality is reflected in implementation reaching 97.82% and student responses of 96.73%. Effectiveness

is indicated by improved computational thinking skills with an average N-gain of 0.78 in the high category, with cognitive mastery reaching 100%. All computational thinking indicators improved, although the algorithm indicator showed the lowest N-gain of 0.69 in the medium category. Thus, the FlyLab JS based worksheet is valid, practical, and effective in enhancing students' computational thinking skills on inheritance topics.

Keywords: Virtual Laboratory, FlyLab JS, Computational Thinking, Inheritance

PENDAHULUAN

Perkembangan era digital mendorong peserta didik menguasai keterampilan abad ke-21, khususnya kemampuan berpikir tingkat tinggi yang diperlukan dalam menghadapi permasalahan kompleks di berbagai bidang kehidupan (Cahdriyana & Richardo, 2020). Salah satu kemampuan esensial tersebut adalah berpikir komputasional (*computational thinking*), yaitu kemampuan memecahkan masalah melalui tahapan dekomposisi, identifikasi pola, abstraksi, serta perancangan algoritma secara logis dan terstruktur (Asbell-Clark, 2021). Dalam pembelajaran sains, berpikir komputasional berperan penting karena membantu peserta didik memahami fenomena ilmiah sebagai alur informasi yang dapat dianalisis, dimodelkan, dan diselesaikan secara efektif (Maharani *et al.*, 2020).

Menurut hasil studi PISA (*Programme for International Student Assessment*) tahun 2018, Indonesia berada pada peringkat ke-71 dari 78 negara dalam bidang sains dengan skor rata-rata 396 (OECD, 2019). Pada level kompetensi tinggi (level 4–6), yang berkaitan erat dengan kemampuan berpikir komputasional, hanya kurang dari 10% peserta didik Indonesia yang mampu mencapainya. Data tersebut menunjukkan bahwa keterampilan berpikir komputasional pelajar Indonesia relatif rendah dan belum menjadi bagian integral dari praktik pembelajaran sains di sekolah. Kondisi ini dipertegas oleh temuan penelitian Supiarmo *et al.* (2021) yang mengungkapkan bahwa peserta didik cenderung menggunakan prosedur umum tanpa menerapkan abstraksi dan berpikir algoritmik secara sistematis. Selain itu, pembelajaran sains di sekolah masih lebih menekankan sains sebagai produk daripada sains sebagai proses, sehingga keterampilan proses sains dan berpikir komputasional belum berkembang secara seimbang (Suja, 2020).

Dalam pembelajaran biologi, struktur materi bersifat berkesinambungan dan mencakup konsep sederhana hingga kompleks (Faridah & Isnawati, 2024). Salah satu materi dengan tingkat kompleksitas tinggi adalah genetika (Maghfiroh & Susantini, 2023), yang memuat proses biologis bertahap dan tidak dapat diamati secara langsung sehingga sulit dipahami secara konseptual (Widiastutik, 2021). Kesulitan tersebut terutama terlihat pada materi pewarisan sifat. Banyak peserta didik yang belum paham terkait hukum Mendel karena sifat materinya yang abstrak dan tidak dapat divisualisasikan secara langsung (Fitriana *et al.*, 2020). Materi ini juga menuntut kemampuan analisis dan pemahaman konseptual yang mendalam (Solikah & Susantini, 2022).

Selain itu, keterbatasan media pembelajaran dan metode yang digunakan turut memperkuat permasalahan tersebut. Pembelajaran yang kurang memberikan pengalaman eksploratif menyebabkan peserta didik cenderung menghafal konsep tanpa memahami keterkaitannya secara menyeluruh (Halijah *et al.*, 2025). Dampaknya, peserta didik mengalami kesulitan dalam menghubungkan teori dengan fenomena nyata serta dalam menganalisis permasalahan genetika secara sistematis. Adapun, implementasi kemampuan berpikir komputasional dalam keterampilan proses sains peserta didik belum terintegrasi secara maksimal pada praktik pembelajaran sains di sekolah (Ariani *et al.*, 2024). Penelitian Adinia *et al.* (2022) juga mengungkapkan bahwa penerapan LKPD dalam pembelajaran biologi efektif dalam meningkatkan kemampuan pemecahan masalah serta pemahaman konsep biologi pada peserta didik. Dalam konteks ini, berpikir komputasional dapat menjadi pendekatan yang relevan untuk memahami fenomena biologi melalui proses berpikir logis, sistematis, dan analitis. Indikator seperti dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi, dan algoritma dapat membantu peserta didik menganalisis pola hereditas secara lebih terstruktur.

Permasalahan tersebut juga teridentifikasi secara empiris melalui wawancara dengan guru biologi di SMAN Jogoroto, yang mengatakan bahwa peserta didik masih mendapatkan skor yang rendah pada latihan soal yang diberikan terkait konsep genetika, khususnya materi pewarisan sifat. Hal ini dikarenakan materi yang bersifat abstrak dan kompleks menuntut kemampuan analisis tinggi yang belum sepenuhnya dimiliki peserta didik. Kondisi ini menunjukkan perlunya inovasi pembelajaran yang dapat mendukung pengembangan kemampuan berpikir komputasional. SMAN Jogoroto dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki kebutuhan nyata sesuai fokus penelitian, didukung fasilitas yang memadai serta lingkungan akademik yang terbuka terhadap inovasi pembelajaran.

Berdasarkan penjabaran di atas, maka diperlukan media pembelajaran yang mampu mengintegrasikan proses eksplorasi ilmiah dengan pengembangan berpikir komputasional. Salah satu alternatif yang dapat dikembangkan adalah

LKPD berbasis laboratorium virtual yang dirancang secara inovatif, adaptif, dan analitis. Pemanfaatan laboratorium virtual, seperti simulasi *FlyLab JS*, memungkinkan peserta didik melakukan eksplorasi, analisis data, serta pemodelan fenomena genetika secara interaktif. Lingkungan belajar berbasis simulasi ini membantu peserta didik dalam menganalisis dan mensintesis informasi secara mendalam, sehingga berpotensi memperkuat pemahaman konseptual sekaligus mengembangkan kemampuan berpikir komputasional sebagai bagian dari keterampilan berpikir tingkat tinggi.

Dengan demikian, pengembangan LKPD berbasis laboratorium virtual diharapkan mampu menghasilkan media pembelajaran yang inovatif secara teknologi dan memiliki kekuatan pedagogis dalam upaya peningkatan kualitas pembelajaran sains di era digital, khususnya dalam memperkuat pemahaman genetika dan kemampuan berpikir komputasional. Penelitian ini bertujuan menghasilkan LKPD berbasis laboratorium virtual untuk meningkatkan kemampuan berpikir komputasional pada materi pewarisan sifat, serta mendeskripsikan validitas, kepraktisan, dan keefektifan LKPD. Dengan tercapainya tujuan tersebut, diharapkan LKPD yang dihasilkan mampu berfungsi sebagai media pembelajaran yang layak, mudah digunakan, dan efektif dalam mendukung kegiatan belajar genetika berbasis pendekatan berpikir komputasional.

METODE

Jenis penelitian yang digunakan yaitu penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) bertujuan untuk menghasilkan produk berupa LKPD berbasis laboratorium virtual sekaligus menilai kualitasnya ditinjau dari validitas, kepraktisan, dan keefektifan. Model pengembangan yang diterapkan adalah model 4D (*define, design, develop, disseminate*). Tahap pendefinisian dilakukan melalui analisis kurikulum, karakteristik peserta didik, konsep materi pewarisan sifat, tujuan pembelajaran, serta analisis tugas yang disesuaikan dengan indikator berpikir komputasional. Selanjutnya, tahap perancangan meliputi penyusunan rancangan atau desain LKPD berbasis laboratorium virtual *FlyLab JS* yang bersifat interaktif dan kontekstual.

LKPD berbasis laboratorium virtual *Fly Lab JS* pada materi pewarisan sifat yang dirancang, terdiri atas dua kegiatan utama. Kegiatan pertama berfokus pada pengamatan karakteristik *Drosophila melanogaster* melalui fitur *Design* pada *Fly Lab JS*, meliputi warna mata, bentuk sayap, antena, rambut tubuh, dan warna tubuh, sebagai dasar pengenalan variasi fenotip sebelum simulasi persilangan. Kegiatan kedua berupa praktikum digital yang mencakup simulasi persilangan monohibrid dan dihibrid dengan memanfaatkan menu *Mate* dan *Crosses* pada *Fly Lab JS*. Pada tahap pengembangan meliputi validasi ahli, revisi, dan tahap uji coba secara terbatas. Tahap penyebaran dilakukan melalui publikasi dan distribusi LKPD kepada guru biologi.

Penelitian dilaksanakan di SMAN Jogoroto Jombang pada bulan Juli hingga November 2025. Subjek penelitian adalah 25 peserta didik kelas XII MIPA ditentukan melalui teknik purposive sampling dengan mempertimbangkan bahwa peserta didik telah memperoleh pembelajaran mengenai materi pewarisan sifat. Adapun populasi penelitian mencakup seluruh siswa kelas XII MIPA di SMAN Jogoroto. sedangkan sampel penelitian difokuskan pada satu kelas yang memenuhi kriteria penelitian.

Analisis validitas LKPD dilakukan dengan menghitung skor rata-rata hasil penilaian validator (dosen ahli dan guru biologi) menggunakan skala Likert, yang berkisar dari 1 hingga 4. Untuk dianggap valid, LKPD harus memperoleh skor minimum 3,00. Adapun penilaian kepraktisan LKPD dilakukan melalui observasi keterlaksanaan pembelajaran yang melibatkan empat observer. Data dikumpulkan menggunakan lembar observasi dan lembar angket respons peserta didik. Penilaian berdasarkan skala Guttman menggunakan skor 1 untuk jawaban “ya” dan skor 0 untuk jawaban “tidak”. LKPD dianggap memiliki tingkat kepraktisan apabila persentase nilai yang diperoleh melebihi 75% dari skor maksimum yang ditetapkan.

Keefektifan LKPD dianalisis melalui hasil *pre-test* dan *post-test* untuk mengukur peningkatan kemampuan berpikir komputasional peserta didik. Peningkatan tersebut dihitung menggunakan nilai *N-gain*. LKPD dinyatakan efektif apabila nilai *N-gain* berada di atas 0,7. Selain itu, efektivitas pembelajaran dinilai dari ketuntasan hasil belajar dan dinyatakan tercapai apabila skor kognitif peserta didik memenuhi atau melampaui Standar Kompetensi Minimal (SKM) yang ditetapkan, yaitu sebesar ≥ 75 . Secara keseluruhan, LKPD yang dihasilkan dapat digunakan apabila memenuhi standar validitas, kepraktisan, serta efektivitas. sesuai dengan standar evaluasi yang dirujuk dalam penelitian pengembangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur LKPD tersusun atas tiga bagian utama, yaitu pendahuluan, inti, dan penutup. Pada bagian pendahuluan terdapat cover dan identitas peserta didik. Bagian inti berisi komponen pembelajaran meliputi materi pelajaran, kelas/semester, topik, media pembelajaran, waktu pembelajaran, tujuan dan capaian pembelajaran, petunjuk penggunaan

Fly Lab JS, ringkasan materi, fitur pendukung berpikir komputasional, panduan praktikum, serta latihan soal kritis. Bagian penutup memfasilitasi peserta didik untuk melakukan refleksi singkat terkait pemahaman dan pengalaman belajar.

Tabel 1. Fitur-fitur LKPD

Tampilan Fitur	Keterangan	Penerapan dalam LKPD
		<i>Fly Lab JS</i>
	Fitur <i>Bio-Inquiry</i>	Fitur ini berisi ringkasan materi pewarisan sifat yang meliputi konsep dasar dan pengertian pewarisan sifat, persilangan hukum mendel (monohibrid dan dihibrid) serta dilengkapi dengan glosarium.
	Fitur <i>Bio-Quest</i>	Fitur <i>Bio-Quest</i> mengajak peserta didik menyelidiki pewarisan sifat melalui simulasi persilangan digital pada lalat buah (<i>Drosophila melanogaster</i>) dengan mengamati pola fenotipe dan genotipe keturunan untuk memahami mekanisme pewarisan sifat serta menyimpulkan hukum genetika yang berlaku.
	Fitur <i>Bio-Lab Challenge</i>	Fitur <i>Bio-Lab Challenge</i> berisi buku panduan dan link website laboratorium virtual <i>Fly Lab JS</i> yang diakses oleh peserta didik untuk meningkatkan pemahaman terkait materi pewarisan sifat melalui praktikum online secara langsung.
	Fitur Bio-Think	Fitur ini berisi lima latihan soal yang dirancang berdasarkan indikator berpikir komputasional dan dikerjakan oleh peserta didik untuk meningkatkan pemahaman terhadap materi pewarisan sifat.
	Fitur Bio-Connect	Fitur ini memuat refleksi peserta didik terhadap penggunaan LKPD berbasis laboratorium virtual <i>FlyLab JS</i> dalam meningkatkan kemampuan berpikir komputasional pada materi pewarisan sifat melalui soal-soal reflektif setelah kegiatan praktikum virtual

Validitas LKPD Berbasis Laboratorium Virtual

Aspek yang dinilai dalam kegiatan validasi meliputi lima komponen, yaitu penyajian (desain cover, pemilihan ukuran dan jenis huruf, ilustrasi gambar), cakupan materi (petunjuk, informasi capaian dan tujuan pembelajaran, isi materi serta masalah yang disajikan), kebahasaan (kesesuaian PUEBI, pemilihan bahasa sesuai tingkat pemahaman peserta didik, kalimat yang efektif dan tidak tabu), kesesuaian dengan indikator berpikir komputasional (Tabel 2).

Tabel 2. Validitas LKPD Berbasis Laboratorium Virtual

No	Kriteria validasi	Validator			Rata-rata	Kategori
		V1	V2	V3		
1	Penyajian	3,66	3,33	4	3,66	Sangat valid
2	Cakupan Materi	3,85	3,57	4	3,80	Sangat valid
3	Kebahasaan	4	3,75	3,75	3,83	Sangat valid
4	Indikator Berpikir Komputasional	4	3,75	4	3,91	Sangat valid
5	Penilaian Pembelajaran	4	4	4	3,83	Sangat valid
Rata-rata keseluruhan					3,84	
Kategori					Sangat valid	

Keterangan interpretasi skor validitas LKPD:

1,00-1,75 : Kurang valid

1,76-2,50 : Cukup Valid

2,51-3,25 : Valid

3,26-4,00 : Sangat valid

Berdasarkan hasil rekapitulasi validasi, pada aspek penyajian menunjukkan skor 3,66 dengan kategori sangat valid. Meskipun demikian, nilai ini belum sempurna sehingga beberapa perbaikan disarankan seperti pada desain cover LKPD yang sebelumnya tidak menampilkan visual laboratorium virtual *Fly Lab JS* serta ukuran huruf yang masih terlalu kecil pada beberapa bagian. Perbaikan ini penting karena desain LKPD berperan besar dalam meningkatkan ketertarikan dan motivasi belajar peserta didik (Amiruddin *et al.*, 2022).

Pada aspek cakupan materi perolehan skor menunjukkan 3,80 dengan kategori sangat valid. Beberapa indikator memperoleh skor maksimal, seperti kejelasan instruksi pemakaian dan kecocokan materi dengan capaian dan tujuan pembelajaran. Namun, pada indikator kelengkapan materi pendukung seperti alur penyajian dan pemilihan masalah kontekstual masih memperoleh skor yang rendah. Hal ini menunjukkan perlunya penyajian materi yang lebih runtut serta penambahan contoh kasus yang lebih dekat dengan kehidupan peserta didik. Temuan ini sejalan dengan Wibowo & Rahayu (2025) yang menegaskan pentingnya keselarasan dan sistematika materi dalam mendukung pemahaman mandiri peserta didik.

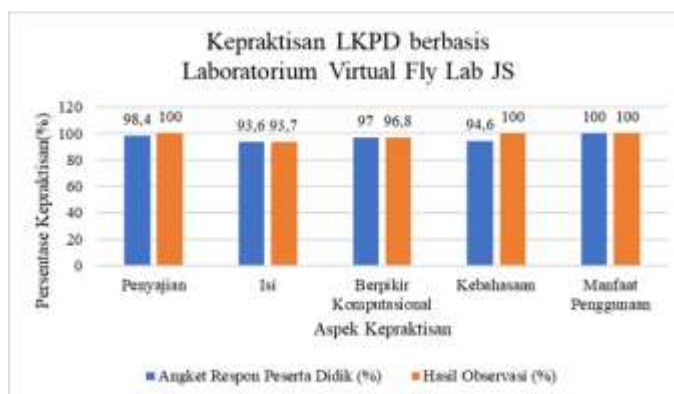
Pada aspek kebahasaan skor sebesar 3,83 dan termasuk kategori sangat valid. Penggunaan bahasa baku sesuai PUEBI serta kejelasan struktur kalimat memperoleh skor maksimal. Namun, penyesuaian bahasa dengan tingkat pemahaman peserta didik masih memperoleh skor yang rendah, sehingga diperlukan penambahan istilah penjelas untuk mempermudah pemahaman. Hasil ini sejalan dengan penelitian Nugraha *et al.* (2025) yang mengungkapkan, apabila kualitas bahasa bahan ajar ditentukan oleh kejelasan, ketepatan, dan kemudahan dipahami oleh peserta didik.

Skor pada aspek berpikir komputasional sebesar 3,91 tergolong sangat valid. Namun, pada indikator dekomposisi memperoleh paling rendah, dibandingkan dengan indikator pengenalan pola, abstraksi, dan algoritma. Temuan ini menunjukkan bahwa keterampilan dekomposisi membutuhkan perbaikan dan latihan bertahap yang sesuai dengan kegiatan pembelajaran. Lestari (2020) yang menyatakan bahwa LKPD yang terstruktur mampu menanamkan keterampilan berpikir komputasional secara efektif melalui pembiasaan pemecahan masalah sistematis.

Pada aspek penilaian pembelajaran, pertanyaan aktivitas LKPD dan latihan soal memperoleh skor maksimal yaitu 4 dan termasuk sangat valid. Hasil ini mengindikasikan bahwa instrumen penilaian telah selaras terhadap tujuan pembelajaran dan mendukung kegiatan belajar secara mandiri. Temuan ini didukung oleh Mulyati *et al.* (2023) yang menegaskan LKPD berbasis *assessment for learning* dan latihan soal yang relevan mampu meningkatkan hasil belajar, kemandirian, dan kreativitas peserta didik.

Kepraktisan LKPD Berbasis Laboratorium Virtual

Berikut hasil rekapitulasi terkait keterlibatan peserta didik selama pembelajaran berlangsung dan hasil respon disajikan melalui diagram batang berikut ini:



Gambar 1. Diagram Batang Kepraktisan LKPD ditinjau dari Angket Respon Peserta Didik dan Hasil Observasi

Berdasarkan data pada diagram batang, kepraktisan LKPD berbasis laboratorium virtual *Fly Lab JS* ditinjau dari dua aspek utama, yaitu keterlibatan peserta didik dalam aktivitas pembelajaran dan angket respons peserta didik, menunjukkan capaian yang sangat tinggi dan konsisten berada pada kategori sangat praktis ($\geq 75\%$) sesuai kriteria kepraktisan menurut Riduwan (2013). Pada hasil observasi, aspek penyajian memperoleh persentase 100%, isi 93,7%, berpikir komputasional 96,8%, kebahasaan 100%, dan manfaat penggunaan 100%. Meskipun pada aspek isi dan berpikir komputasional persentasenya sedikit lebih rendah dibandingkan aspek lainnya, seluruh indikator tetap menunjukkan keterlaksanaan yang optimal dengan rata-rata keseluruhan 97,82%. Capaian ini mengindikasikan bahwa LKPD mudah diimplementasikan, sistematis, serta mampu memfasilitasi peserta didik dalam melaksanakan dua kegiatan utama, yaitu pengamatan karakteristik *Drosophila melanogaster* melalui fitur desain serta simulasi persilangan monohybrid dan dihibrid secara digital.

Pada aspek isi dan berpikir komputasional, capaian yang belum maksimal dapat dijelaskan melalui teori beban kognitif yang menyatakan bahwa penyajian informasi yang terlalu kompleks berpotensi membebani memori kerja peserta didik sehingga menurunkan efektivitas pembelajaran (Sweller *et al.*, 2011). Materi yang relatif panjang serta keterbatasan waktu pembelajaran diduga memengaruhi kedalaman eksplorasi peserta didik terhadap konsep. Selain itu, pada indikator abstraksi yang menuntut kemampuan membandingkan hasil persilangan dengan hukum Mendel peserta didik masih berada pada tahap pengembangan kemampuan berpikir formal. Hal tersebut sesuai dengan teori perkembangan kognitif Piaget (1972) bahwa kemampuan berpikir abstrak pada tahap operasional formal berkembang secara bertahap dan memerlukan latihan berkelanjutan. Dengan demikian, meskipun belum mencapai persentase sempurna, capaian tersebut tetap menunjukkan bahwa LKPD efektif melatih proses dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi, dan algoritma dalam konteks pembelajaran genetika.

Sejalan dengan hasil observasi, angket respons peserta didik menunjukkan rerata 96,73% dengan kategori sangat praktis, yang terdiri atas aspek penyajian (98,4%), isi (93,6%), berpikir komputasional (97%), kebahasaan (94,6%), dan manfaat penggunaan (100%). Tingginya skor pada aspek penyajian menunjukkan bahwa desain, ilustrasi, petunjuk penggunaan, serta integrasi tautan dan *QR code* mampu meningkatkan kenyamanan belajar. Temuan ini sejalan dengan pendapat Midroro *et al.* (2021) jika media pembelajaran digital interaktif cenderung mendorong minat dan memunculkan respons positif peserta didik. Pada aspek isi, meskipun skor sedikit lebih rendah terutama pada penggunaan laboratorium virtual yang berbahasa Inggris hasil ini mendukung temuan Radianti *et al.* (2020) bahwa efektivitas laboratorium virtual dipengaruhi oleh kemudahan penggunaan, familiaritas, serta kesiapan linguistik dan kognitif peserta didik.

Aspek berpikir komputasional yang mencapai 97% menunjukkan bahwa LKPD mampu melatih peserta didik dalam mengenali pola dan menyusun langkah penyelesaian masalah secara sistematis. Respons positif ini berimplikasi pada capaian hasil belajar yang baik sebagaimana dikemukakan Khartaningtyas dan Rosdiana (2020) bahwa sikap positif terhadap pembelajaran berkorelasi dengan peningkatan hasil belajar. Sementara itu, aspek kebahasaan yang memperoleh 94,6% menegaskan bahwa penggunaan bahasa yang komunikatif mempermudah pemahaman, sebagaimana dinyatakan Fansiska *et al.* (2021) bahwa kejelasan bahasa merupakan indikator penting kualitas bahan ajar. Tingginya aspek manfaat penggunaan (100%) juga memperkuat temuan Murtado *et al.* (2023) bahwa media pembelajaran berbasis online memiliki keunggulan dalam fleksibilitas, interaktivitas, dan kemudahan akses, sehingga mampu meningkatkan motivasi dan kemandirian belajar.

Secara komprehensif, konsistensi antara hasil observasi dan respons peserta didik menunjukkan bahwa LKPD berbasis laboratorium virtual *Fly Lab JS* tidak hanya memenuhi kriteria kepraktisan secara teknis, tetapi juga didukung secara teoretis oleh perspektif beban kognitif, perkembangan kognitif, serta efektivitas media interaktif dalam pembelajaran sains. Dengan capaian di atas 93% pada seluruh aspek, LKPD ini dinyatakan sangat praktis dan layak digunakan untuk mendukung pembelajaran materi pewarisan sifat sekaligus mengembangkan kemampuan berpikir komputasional peserta didik secara terstruktur dan bermakna.

Keefektifan LKPD Berbasis Laboratorium Virtual

Keefektifan LKPD yang dihasilkan dinilai berdasarkan hasil belajar peserta didik dan ketercapaian indikator berpikir komputasional. Selain itu, keefektifan juga didukung oleh data hasil pengerjaan LKPD oleh peserta didik. Berikut merupakan hasil keefektifan LKPD yang dihasilkan pada masing-masing aspek.

a. Keefektifan Ditinjau dari Hasil Belajar

Keefektifan LKPD berbasis laboratorium virtual *Fly Lab JS* yang dihasilkan dinilai dari hasil pengerjaan *pre-test* dan *pos-test* (Tabel 3). Instrumen *pre-test* dan *post-test* masing-masing memuat 8 butir soal yang disusun berdasarkan tujuan pembelajaran serta disesuaikan dengan indikator berpikir komputasional.

Tabel 3. Hasil Pengerjaan *pre-test* dan *post-test*

No	Kode Peserta Didik	Nilai				N-Gain Score	Kategori
		Pre-test	Kategori	Post-test	Kategori		
1.	P01	40	TT	92	T	0,87	Tinggi
2.	P02	40	TT	92	T	0,87	Tinggi
3.	P03	48	TT	82	T	0,65	Sedang
4.	P04	66	TT	96	T	0,88	Tinggi
5.	P05	40	TT	92	T	0,87	Tinggi

No	Kode Peserta Didik	Nilai				N-Gain Score	Kategori
		Pre-test	Kategori	Post-test	Kategori		
6.	P06	44	TT	90	T	0,82	Tinggi
7.	P07	66	TT	94	T	0,82	Tinggi
8.	P08	44	TT	94	T	0,89	Tinggi
9.	P09	52	TT	80	T	0,58	Sedang
10.	P10	62	TT	96	T	0,89	Tinggi
11.	P11	52	TT	86	T	0,71	Tinggi
12.	P12	50	TT	88	T	0,76	Tinggi
13.	P13	60	TT	96	T	0,90	Tinggi
14.	P14	52	TT	88	T	0,75	Tinggi
15.	P15	56	TT	86	T	0,68	Sedang
16.	P16	56	TT	94	T	0,86	Tinggi
17.	P17	72	TT	94	T	0,79	Tinggi
18.	P18	52	TT	90	T	0,79	Tinggi
19.	P19	38	TT	86	T	0,77	Tinggi
20.	P20	66	TT	86	T	0,59	Sedang
21.	P21	52	TT	82	T	0,63	Sedang
22.	P22	46	TT	80	T	0,63	Sedang
23.	P23	62	TT	96	T	0,89	Tinggi
24.	P24	40	TT	90	T	0,83	Tinggi
25.	P25	64	TT	94	T	0,83	Tinggi
Rata-rata		52,80 0%	TT	89,76 100%	T	0,78 Tinggi	

Keterangan:

(<g>) > 0,7 : Tinggi

0,7 > (<g>) > 0,3 : Sedang

(<g>) < 0,3 : Rendah

TT : Tidak tuntas

T : Tuntas

Hasil *pre-test* menunjukkan seluruh peserta didik belum mencapai ketuntasan dengan skor rata-rata 52,80, berada di bawah SKM ≥ 75 (Putri, 2024), yang mengindikasikan rendahnya kemampuan berpikir komputasional awal. Kondisi ini dipengaruhi oleh karakteristik materi pewarisan sifat yang bersifat abstrak dan menuntut penalaran tingkat tinggi (Supiaro *et al.*, 2021), serta belum terbiasanya peserta didik menerapkan pendekatan berpikir komputasional dalam menyelesaikan permasalahan genetika (Suryadi *et al.*, 2023).

Namun, hasil *post-test* mengalami kenaikan yang cukup signifikan, ketuntasan belajar mencapai 100%. Hal tersebut menandakan bahwa penggunaan LKPD berbasis laboratorium virtual *Fly Lab JS* mampu melatih peserta didik dalam memecahkan permasalahan secara bertahap, mengidentifikasi pola, serta merancang langkah penyelesaian yang terstruktur. Hasil penelitian ini konsisten dengan temuan Putri *et al.* (2024) yaitu adanya kesesuaian antara karakteristik materi, tujuan pembelajaran, dan aktivitas belajar berbasis simulasi digital mampu memberikan peningkatan yang nyata terhadap hasil belajar serta kemampuan berpikir komputasional peserta didik.

Selain itu, pemahaman peserta didik terhadap materi pembelajaran tidak hanya dinilai dari peningkatan skor hasil belajar, tetapi juga ditinjau melalui ketercapaian indikator pada setiap butir soal, sehingga dapat diketahui materi pembelajaran yang telah maupun yang belum dipahami oleh peserta didik (Tabel 4).

Tabel 4. Ketercapaian Indikator Soal

Indikator Soal	Aspek Kognitif	Nomor Soal	Ketuntasan(%)
Menguraikan variasi fenotip pada <i>Drosophila melanogaster</i> (Dekomposisi)	C-2 Pemahaman	1	100
Membandingkan variasi fenotip mata pada <i>Drosophila melanogaster</i> (Abstraksi)	C-2 Pemahaman	2	96
Menentukan faktor-faktor untuk melakukan persilangan monohibrid (Dekomposisi)	C-3 Aplikasi	3	92
Menentukan hasil persilangan F1 monohibrid (Pengenalan pola)	C-3 Aplikasi	4	84
Menentukan hasil persilangan F2 dengan punnet square (Algoritma)	C-3 Aplikasi	5	80
Menganalisis hasil persilangan dihibrid (Pengenalan pola)	C-4 Analisis	6	80
Memprediksi pola pewarisan sifat (Abstraksi)	C-5 Evaluasi	7	72
Menganalisis pola pewarisan sifat dan hubungannya dengan konsep alel (Algoritma)	C4-Analisis	8	65
Rata-rata Keseluruhan Indikator Soal			83,62

Ditinjau dari ketercapaian persentase ketuntasan indikator soal, kemampuan peserta didik pada level kognitif C2 (memahami) dan C3 (mengaplikasikan) menunjukkan hasil yang baik. Materi variasi fenotip *Drosophila melanogaster* pada level C2 mencapai ketercapaian tertinggi sebesar 100%, sedangkan materi persilangan monohibrid dan dihibrid pada level C3 mencapai persentase $\geq 80\%$. Namun, pada level kognitif yang lebih tinggi, yaitu C4 (menganalisis) dan C5 (evaluasi), ketercapaian indikator relatif lebih rendah, masing-masing sebesar 65% pada materi analisis pola pewarisan sifat dan hubungan konsep alel, serta 72% pada materi prediksi pola pewarisan sifat. Hal tersebut memperlihatkan bahwa terdapat kesulitan yang dialami peserta didik pada soal dengan tuntutan berpikir tingkat tinggi, sejalan dengan Pratiwi *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa soal pada level C3–C5 menuntut kemampuan menghubungkan konsep, menganalisis data, dan mengambil keputusan.

Meskipun demikian, secara keseluruhan hasil tersebut menegaskan bahwa integrasi konsep biologis dan komputasional dalam LKPD berbasis laboratorium virtual *Fly Lab JS* terbukti mampu meningkatkan kemampuan berpikir komputasional sekaligus hasil belajar peserta didik. Hal ini didukung oleh temuan Masruah *et al.* (2022) yang mengemukakan bahwa sains adalah disiplin yang menuntut proses penyelidikan terstruktur, sehingga pembelajaran biologi perlu memberi ruang lebih luas bagi aktivitas analitis dan eksploratif.

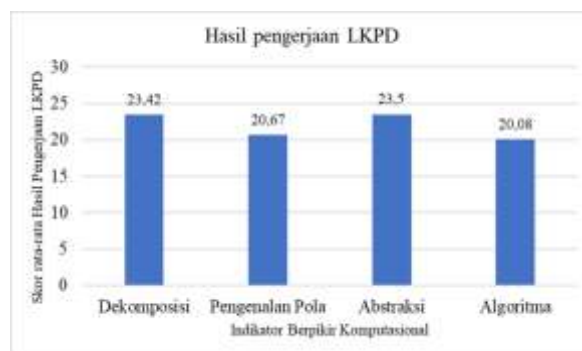
b. Keefektifan Ditinjau dari Hasil Pengerjaan LKPD

Nilai hasil kerja peserta didik pada LKPD digunakan sebagai salah satu data pendukung untuk menilai tingkat kepraktisan LKPD yang dihasilkan. Data tersebut diperoleh dari skor yang diberikan pada LKPD yang telah dikerjakan oleh peserta didik. Berikut rekapitulasi skor hasil uji coba LKPD berbasis virtual laboratorium virtual *Fly Lab JS*.

Tabel 5. Rekapitulasi Skor Hasil Pengerjaan LKPD

Indikator Berpikir Komputasional	Skor Per-Kelompok						Skor Maks
	1	2	3	4	5	6	
Dekomposisi	24	25	24	25	22,5	20	25
Pengenalan pola	15,5	25	19	24	17	22	25
Abstraksi	25	23	25	25	23	21	25
Algoritma	15	25	15	23	19,5	18	25
Skor Hasil Pengerjaan LKPD	81	97	83	97	82	86	100
Rata-rata skor LKPD	88						

Adapun gambaran perbedaan capaian nilai pada masing-masing indikator diperjelas melalui diagram batang skor rata-rata pengerjaan (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram Batang Kepraktisan LKPD ditinjau dari Angket Respon Peserta Didik dan Hasil Observasi

Hasil pengerjaan LKPD pada Tabel 4 dan Gambar 2 menunjukkan keterkaitan yang jelas antara rancangan tugas dan capaian indikator berpikir komputasional peserta didik. Indikator dekomposisi, pengenalan pola, dan abstraksi memperoleh skor tinggi, yang menandakan bahwa peserta didik mampu menguraikan permasalahan genetika, mengenali pola persilangan, serta memfokuskan informasi yang relevan dalam proses pemecahan masalah. Sebaliknya, indikator algoritma memperoleh skor relatif lebih rendah, yang mengindikasikan bahwa peserta didik belum terbiasa merancang dan menuliskan langkah-langkah penyelesaian masalah secara sistematis, meskipun proses berpikir algoritmik telah berlangsung secara implisit selama pengerjaan LKPD.

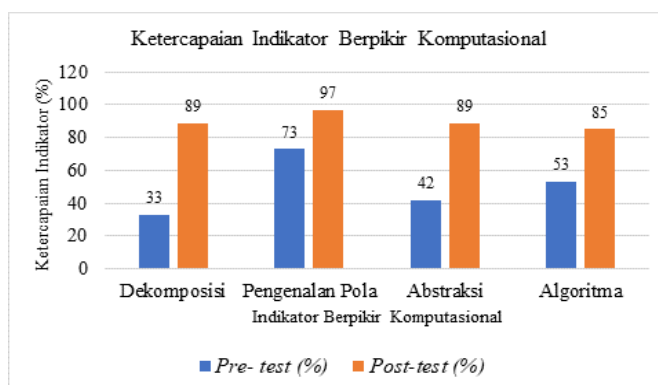
Keselarasannya antara hasil pengerjaan LKPD dan peningkatan hasil belajar peserta didik menunjukkan bahwa struktur tugas yang disusun secara bertahap dan terintegrasi dengan indikator berpikir komputasional berkontribusi langsung terhadap peningkatan kemampuan memahami konsep dan kemampuan berpikir komputasional peserta didik. Dengan demikian, LKPD berbasis laboratorium virtual Fly Lab JS selain mudah diterapkan, juga terbukti memberikan hasil yang optimal dalam mendukung pembelajaran pewarisan sifat melalui pembiasaan pemecahan masalah secara sistematis (Yuntawati *et al.*, 2021).

c. Keefektifan Ditinjau dari Ketercapaian Indikator Berpikir Komputasional

Tingkat ketercapaian indikator berpikir komputasional dapat dinilai melalui hasil penilaian *pre-test* dan *post-test*. Ketercapaian indikator berpikir komputasional meliputi dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi dan algoritma (Tabel 5 dan Gambar 4).

Tabel 5. Rekapitulasi ketercapaian Indikator Berpikir Komputasional

Indikator Berpikir Komputasional	<i>Pre-test</i> (%)	<i>Post-test</i> (%)	<i>N-gain</i>	Kategori
Dekomposisi	33	89	0,83	Tinggi
Pengenalan Pola	73	97	0,88	Tinggi
Abstraksi	42	89	0,81	Tinggi
Algoritma	53	85	0,69	Sedang
Rata-rata	50,25	90	0,79	Tinggi



Gambar 3. Diagram Batang Ketercapaian Indikator Berpikir Komputasional

Indikator pertama, yaitu dekomposisi, menunjukkan capaian yang tinggi dengan persentase *post-test* sebesar 89% dan nilai *N-gain* 0,83 dalam kategori tinggi. Temuan ini memperlihatkan bahwa sebagian besar peserta didik telah mampu mengenali informasi penting yang terdapat dalam soal serta menguraikan permasalahan yang kompleks menjadi bagian-bagian yang lebih sederhana. Rahayu et al. (2023) juga menjelaskan bahwa indikator dekomposisi tercapai ketika peserta didik dapat mengidentifikasi serta menuliskan informasi yang relevan secara terstruktur. Pencapaian ini juga dipengaruhi oleh penerapan pendekatan konstruktivisme yang menekankan bahwa pengetahuan terbentuk melalui keterlibatan aktif dan proses refleksi dalam pengalaman belajar (Fosnot, 2005). Pemanfaatan laboratorium virtual *Fly Lab JS* memungkinkan peserta didik mengeksplorasi konsep pewarisan sifat secara mandiri dan kontekstual. Tingginya capaian ini diperkuat oleh hasil validasi pada aspek dekomposisi dengan skor 3,66 (kategori sangat valid), serta tingkat keterlaksanaan pembelajaran 97,82% dan respons peserta didik 96,73% yang menunjukkan bahwa kevalidan dan kepraktisan LKPD berkontribusi terhadap efektivitas peningkatan kemampuan dekomposisi.

Indikator kedua, yaitu pengenalan pola, memperoleh capaian tertinggi dengan persentase 99,5% dan *N-gain* 0,92 dalam kategori tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa peserta didik sangat mampu menganalisis data hasil simulasi persilangan dan mengidentifikasi keteraturan pola untuk memprediksi kemungkinan hasil genetik. Kemampuan mengenali pola merupakan inti dari berpikir komputasional karena menjadi dasar dalam pengambilan keputusan berbasis data. Rainer et al. (2023) menegaskan bahwa berpikir komputasional mendukung pola pikir analitis dan kreatif, sedangkan Zhao et al. (2023) menyatakan bahwa kemampuan melihat keteraturan dalam data menjadi landasan dalam penyelesaian masalah ilmiah. Dengan dukungan visualisasi interaktif pada laboratorium virtual, peserta didik lebih mudah mengamati rasio fenotip dan genotip, sehingga proses generalisasi konsep hukum Mendel dapat dilakukan secara lebih mendalam dan bermakna.

Indikator ketiga, yaitu abstraksi, memperoleh persentase *post-test* sebesar 89% dengan *N-gain* 0,81 dalam kategori tinggi. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa sebagian besar peserta didik telah mampu memilah informasi yang penting serta mengesampingkan informasi yang tidak berkontribusi dalam penyelesaian masalah. Kemampuan abstraksi tampak ketika peserta didik melakukan generalisasi hasil persilangan dan mereduksi data kompleks menjadi konsep inti yang sesuai dengan prinsip pewarisan sifat. Putri et al. (2024) menyatakan bahwa abstraksi merupakan kemampuan penting dalam berpikir komputasional karena membantu peserta didik memfokuskan perhatian pada elemen yang esensial untuk penyelesaian masalah. Validasi LKPD pada aspek abstraksi yang memperoleh skor maksimal tergolong sangat valid serta 96% respons positif peserta didik turut memperkuat bahwa desain aktivitas dalam LKPD telah efektif dalam melatih kemampuan abstraksi secara sistematis.

Sementara itu, indikator keempat, yaitu algoritma, menunjukkan persentase *post-test* sebesar 85% dengan *N-gain* 0,69 dalam kategori sedang. Capaian ini lebih rendah dibandingkan indikator lainnya, yang mengindikasikan bahwa kemampuan peserta didik dalam merancang tahapan penyelesaian masalah secara terstruktur dan berurutan masih perlu ditingkatkan. Hasil penilaian pengerjaan LKPD yang menunjukkan skor rata-rata 20,8 dari 25 pada indikator algoritma turut mengonfirmasi bahwa masih terdapat sejumlah peserta didik yang mengalami kendala dalam menyusun prosedur penyelesaian secara logis. Temuan ini sejalan dengan penelitian Arvi et al. (2025) yang mengemukakan bahwa berpikir algoritmik merupakan aspek yang paling rendah penguasaannya dibandingkan komponen berpikir komputasional lainnya.

Selain itu, kebiasaan peserta didik yang cenderung mengikuti contoh soal tanpa memahami struktur masalah secara mendalam juga menjadi faktor penghambat (Susanti & Taufik, 2021). Rahayu et al. (2023) menegaskan bahwa pada indikator algoritma, peserta didik sering keliru dalam menentukan urutan langkah penyelesaian sehingga memerlukan latihan berkelanjutan. Meskipun demikian, secara keseluruhan seluruh indikator berpikir komputasional menunjukkan peningkatan, yang selaras dengan Cognitive Load Theory bahwa pembelajaran akan lebih efektif apabila beban kognitif dikelola secara tepat melalui desain aktivitas yang terstruktur (Sweller, 2024). Dengan demikian, LKPD berbasis laboratorium virtual *Fly Lab JS* terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir komputasional, meskipun penguatan pada aspek algoritma masih perlu dioptimalkan melalui latihan yang lebih intensif dan scaffolding yang sistematis.

PENUTUP

Simpulan

Hasil penelitian menghasilkan LKPD berbasis laboratorium virtual *Fly Lab JS* pada materi pewarisan sifat, dapat disimpulkan bahwa LKPD yang dihasilkan dinyatakan layak, praktis, dan efektif untuk meningkatkan kemampuan berpikir komputasional peserta didik. Hasil penilaian oleh validator yang terdiri atas dosen ahli dan guru biologi memperoleh skor rata-rata sebesar 3,83 dengan kategori sangat valid. Kepraktisan LKPD ditunjukkan melalui hasil

observasi keterlaksanaan pembelajaran yang mencapai 97,82% dengan kategori sangat praktis serta didukung respons positif peserta didik dengan skor sebesar 96,73%. Selain itu, keefektifan LKPD dibuktikan melalui peningkatan hasil belajar peserta didik dengan rata-rata *N-gain* sebesar 0,78 dengan kategori tinggi serta peningkatan ketercapaian indikator berpikir komputasional dari rata-rata *pre-test* sebesar 52,25% menjadi 90% pada *post-test* dengan nilai *N-gain* sebesar 0,79.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian pengembangan LKPD, disarankan adanya penelitian lanjutan dengan melibatkan jumlah dan cakupan peserta didik yang lebih luas agar kepraktisan dan keefektifan LKPD dapat diuji secara lebih komprehensif. Selain itu, penelitian serupa perlu dilakukan pada materi biologi lain untuk memperluas pengembangan kemampuan berpikir komputasional melalui pemanfaatan laboratorium virtual. Penelitian selanjutnya juga diharapkan dapat mengukur indikator berpikir komputasional lainnya yang belum terakomodasi dalam penelitian ini.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan peneliti kepada Prof. Dr. Endang Susantini, M.Pd dan Prof. Dr. Isnawati, M.Si., selaku validator dan dosen penguji, serta Ibu Afifatur Rohmah, S.Pd., selaku validator atas masukan dan arahan selama proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinia, R., Suratno, & Iqbal, M. (2022). Efektivitas pembelajaran aktif berbantuan LKPD Problem Solving terhadap keterampilan pemecahan masalah dan penguasaan konsep biologi siswa di sekolah kawasan perkebunan kopi. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Biologi*, 3(2), 64–75.
- Amiruddin, A., Ramadhani, R., & Hutabarat, W. (2022). Optimalisasi pembelajaran interaktif: Peran kreativitas guru dalam desain Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD). *Jurnal MIND*, 3(2), 45–56.
- Ariani, D., Ibrahim, I., Almukarramah, A., Firmansyah, J., & Khalil, M. (2024). Urgensi pengembangan instrumen tes keterampilan berpikir komputasional bertema biologi bagi siswa Madrasah Aliyah. *Jurnal Jeumpa*, 11(2), 337–348.
- Arvi, M., Chandra, C., & Safitri, S. (2025). Kemampuan berpikir komputasional di sekolah dasar kelas 4 pembelajaran matematika. *Algoritma: Jurnal Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, Kebumihan dan Angkasa*, 3(3), 108–121.
- Asbell-Clarke, J., Rowe, E., Almeda, V., Edwards, T., Bardar, E., Gasca, S. Scruggs, R. (2021). The development of students' computational thinking practices in elementary- and middle-school classes using the learning game Zoombinis. *Computers in Human Behavior*, 115, 106587.
- Cahdriyana, R. A., & Richardo, R. (2020). Berpikir komputasi dalam pembelajaran matematika. *Literasi: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 11(1), 50–56.
- Eka Widiastutik & Isnawati. (2021). Profil miskonsepsi siswa pada materi sintesis protein menggunakan four-tier diagnostic test. *BioEdu: Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi*, 10(1), 85–94.
- Faridah, N. M., & Isnawati, I. (2024). Pengembangan Media Monogen (Monopoli Genetika) Berbasis Student Team Achievement Division dalam Meningkatkan Pemahaman Konsep Peserta Didik SMA. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 13(2), 473-480.
- Fitriana, D. E. N., Yanti, D. K., Khotimah, A., & Aprilia, R. E. (2020). Analysis of learning difficulties of class XII high school students on genetic material. *International Journal of Biology Education Towards Sustainable Development*, 2(2), 71–78.
- Fosnot, C. T. (2005). *Constructivism: Theory, Perspectives, and Practice*. Teachers College Press.
- Fransiska, D., Yuliati, Y., & Ulfa, U. (2021). Aspek kebahasaan yang komunikatif dalam pengembangan bahan ajar untuk meningkatkan pemahaman peserta didik. *Journal of Education and Development*.
- Halijah, S., Syukriah, S., & Muthoharoh, S. (2025). Penerapan media video interaktif untuk meningkatkan pemahaman dan partisipasi siswa terhadap materi haji di MAN 2 Bone. *Jurnal Pendidikan Kritis dan Kolaboratif*, 1(1), 100–104.
- Khartaningtyas, G. R., & Rosdiana, L. (2020). Respon peserta didik terhadap keterlaksanaan pembelajaran dengan model pembelajaran guided inquiry. *Pensa: E-Jurnal Pendidikan Sains*, 8(2), 188-193.
- Lestari, S. (2020). *Pengembangan LKPD untuk meningkatkan kemampuan berpikir komputasional siswa*. Bandung: Graha Pendidikan.
- Maghfiroh, K., & Susantini, E. (2023). Pengembangan e-book berorientasi strategi know-want-learned (KWL) untuk melatih keterampilan metakognitif pada materi genetika peserta didik SMA kelas XII. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 12(3), 595-607.

- Maharani, S., Nusantara, T., Asari, A. R., & Malang, U. N. (2020). *Computational thinking pemecahan masalah di abad ke-21*. Malang: Wade Group.
- Masruhah, G. D., Rusdianto, R., & Wahyuni, S. (2022). Pengembangan e-LKPD berbasis inkuiri terbimbing untuk meningkatkan keterampilan proses sains siswa SMP. *SAP (Susunan Artikel Pendidikan)*, 7(1), 169–177.
- Midro, J. N. A., Prastowo, S. H. B., & Nuraini, L. (2021). Analisis respon siswa sma plus al-azhar jember terhadap modul fisika digital berbasis articulate storyline 3 pokok bahasan hukum newton tentang gravitasi. *Jurnal pembelajaran fisika*, 10(1), 8-14.
- Mulyati, S., Rahman, A., & Lestari, D. (2023). Developing assessment for learning oriented worksheets to improve student learning outcomes in thermochemistry. *Pedagogy: Journal of Education*, 11(2), 145–156.
- Murtado, D., Hita, I. P. A. D., Chusumastuti, D., Nuridah, S., Ma'mun, A. H., & Yahya, M. D. (2023). Optimalisasi pemanfaatan media pembelajaran online sebagai upaya meningkatkan hasil belajar siswa di sekolah menengah atas. *Journal on Education*, 6(1), 35-47.
- Nugraha, M. U., Indihadi, D., & Hidayat, S. (2025). Pengembangan LKPD MIKA pada pembelajaran Bahasa Indonesia di sekolah dasar. *Jurnal Obsesi: Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini*, 9(5), 1227–1238.
- OECD. (2019). *Pendidikan di Indonesia: Belajar dari hasil PISA 2018*. Pusat Penilaian Pendidikan, Balitbang Kemendikbud.
- Piaget, J. (1972). *The psychology of the child*. Basic Books.
- Pratiwi, D. T., & Alyani, F. (2022). Kemampuan pemecahan masalah matematika siswa kelas V SD pada materi pecahan. *Journal for Lesson and Learning Studies*, 5(1), 136–142.
- Putri, D. A., Hernanda, L., & Sumarni, W. (2024). Abstraksi dalam berpikir komputasional pada pembelajaran sains. *Jurnal Inovasi Pembelajaran*, 8(1), 45–52.
- Putri, M. H., Kurnia Sari, N., & Suswandari, M. (2024). Analysis of Elementary School Students' Numeracy Literacy Ability in Solving Minimum Competency Assessment (AKM) Questions: Case Study of Challenges and Opportunities. *Numerical: Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 8(1), 245–259.
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778.
- Rahayu, R., Lyesmaya, D., & Maula, L. H. (2023). Analisis kemampuan berpikir komputasi siswa sekolah dasar berbasis Bebras task. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 8(1), 219–234.
- Rainer, T., Wilson, M., & Carter, J. (2023). Computational thinking and its impact on creative and analytical reasoning. *International Journal of Computer Education*, 15(3), 211–225.
- Riduwan. (2013). *Skala pengukuran variabel-variabel penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Solikah, A. N. M., & Susantini, E. (2022). Pengembangan E-Book Interaktif Materi Pewarisan Sifat untuk Melatihkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik Kelas XII SMA. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 11(2), 374–383.
- Suja, I. (2020). *Keterampilan proses sains dan instrumen pengukurannya*. Depok: Raja Grafindo Persada.
- Supiarmo, M. G., & Susanti, E. (2021). Proses berpikir komputasional peserta didik dalam menyelesaikan soal PISA konten change and relationship berdasarkan self-regulated learning. *Numeracy*, 8(1), 58–72.
- Suryadi, D., Kurniawati, L., & Fitria, N. (2023) Analisis kesulitan peserta didik dalam menyelesaikan masalah genetika berbasis berpikir komputasional. *BioEdu: Jurnal Pendidikan Biologi*, 12(1), 45–54.
- Susanti, R. D., & Taufik, M. (2021). Analysis of Student Computational Thinking in Solving Social Statistics Problems. *SJME (Supremum Journal of Mathematics Education)*, 5(1), 22–31.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Springer.
- Wibowo, D. A., & Rahayu, F. (2025). Design and validation of augmented reality-based student worksheets for polyhedra material. *International Journal of Mathematics Education*, 4(1), 22–35.
- Yuntawati, Y., Sanapiah, S., & Aziz, L. A. (2021). Analisis kemampuan computational thinking mahasiswa dalam menyelesaikan masalah matematika. *Media Pendidikan Matematika*, 9(1), 34–42.
- Zhao, X., Huang, L., & Chen, M. (2023). The role of critical thinking in Computational Thinking education. *International Journal of Computer Science Education*, 8(2), 178–195.