

**PENGEMBANGAN *E-WORKSHEET PROBLEM BASED LEARNING*
BERBANTUAN *AUGMENTED REALITY* UNTUK MENINGKATKAN
LITERASI SAINS DAN BERPIKIR KRITIS PADA MATERI
ENTOMOLOGI PERTANIAN**

Bebi Ramalia Alfi¹, Nur Aeni Ariyanti²

Universitas Negeri Yogyakarta^{1,2}

bebiramalia.2023@student.uny.ac.id¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji *E-Worksheet* berbasis *Problem Based Learning* (PBL) berbantuan *Augmented Reality* (AR) pada materi Entomologi Pertanian yang valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan kemampuan literasi sains dan berpikir kritis mahasiswa Pendidikan Biologi. Metode yang digunakan adalah penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) dengan model ADDIE yang meliputi *analysis, design, development, implementation, dan evaluation*. Uji coba lapangan dilakukan pada mahasiswa semester VIII Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Pasundan menggunakan instrumen angket, wawancara, observasi, dan tes. Data dianalisis secara deskriptif dan inferensial menggunakan uji MANOVA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *E-Worksheet* PBL berbantuan AR tergolong sangat layak berdasarkan aspek aksesibilitas, substansi isi, penyajian, karakteristik, dan tata bahasa, serta sangat praktis menurut dosen dan mahasiswa. Penggunaan *E-Worksheet* juga terbukti memberikan pengaruh signifikan terhadap kemampuan literasi sains dan berpikir kritis mahasiswa secara simultan. Simpulan, *E-Worksheet* PBL berbantuan AR pada materi Entomologi Pertanian layak, praktis, dan efektif digunakan sebagai media pembelajaran untuk mendukung peningkatan literasi sains dan berpikir kritis mahasiswa Pendidikan Biologi.

Kata Kunci: *Augmented Reality, Berpikir Kritis, Literasi Sains, Problem Based Learning*

ABSTRACT

This study aimed to develop and evaluate an Augmented Reality (AR)-assisted Problem Based Learning (PBL) E-Worksheet in Agricultural Entomology that is valid, practical, and effective in improving science literacy and critical thinking skills of Biology Education students. The method used was Research and Development employing the ADDIE model, consisting of analysis, design, development, implementation, and evaluation. Field testing was conducted with eighth-semester students of the Biology Education Study Program at Universitas Pasundan using questionnaires, interviews, observations, and tests as research instruments. Data were analyzed using descriptive statistics and MANOVA. The

results showed that the AR-assisted PBL E-Worksheet was highly feasible in terms of accessibility, content substance, presentation, characteristics, and language, and was categorized as highly practical based on lecturers' and students' responses. The use of the E-Worksheet also had a significant simultaneous effect on students' science literacy and critical thinking skills. In conclusion, the AR-assisted PBL E-Worksheet in Agricultural Entomology is feasible, practical, and effective as a learning medium to support the improvement of science literacy and critical thinking skills among prospective biology teachers.

Keywords: *Augmented Reality, Critical Thinking, Problem Based Learning, Science Literacy*

PENDAHULUAN

Pendidikan abad ke-21 menuntut transformasi dalam pendidikan tinggi yang tidak lagi berfokus pada transfer pengetahuan, tetapi pada penguasaan keterampilan tingkat tinggi seperti literasi sains dan berpikir kritis (Saiin et al., 2024; Zhang & Pearlman, 2018). Teknologi berperan penting dalam mendukung pengembangan keterampilan tersebut untuk memecahkan masalah kompleks (Arwen et al., 2025). Sejalan dengan regulasi pendidikan tinggi, lulusan perguruan tinggi dituntut memiliki kemampuan berpikir logis, kritis, dan inovatif dalam memecahkan masalah berbasis sains (Sartana et al., 2025). Mahasiswa Pendidikan Biologi sebagai calon pendidik tidak hanya dituntut menguasai konten, tetapi juga mampu menginvestigasi kebenaran ilmiah dan menghasilkan solusi atas permasalahan lingkungan (Ilyas, 2022). Sebagai pembelajar dewasa, mahasiswa belajar melalui eksplorasi konsep kompleks dengan pengalaman langsung dan teknologi untuk mengonstruksi pengetahuan (Fenwick & Tennant, 2020; Priska Vasantan, 2023).

Namun, berbagai studi menunjukkan adanya kesenjangan kompetensi. Literasi sains mahasiswa calon guru biologi masih rendah, yakni 57,36% dan 30,24% (Muhimmatin & Prasetyo, 2024; Shofiana, 2022), terutama pada kemampuan menjelaskan fenomena, mengevaluasi investigasi, dan menginterpretasi data (Novitasari, 2018). Hal serupa terjadi pada kemampuan berpikir kritis yang masih lemah, khususnya pada aspek analisis dan evaluasi (Anwar et al., 2020; Nur, 2023). Kondisi ini berdampak pada rendahnya kemampuan mengambil keputusan berbasis data, rentannya terhadap misinformasi, serta lemahnya kesiapan mengajarkan pemecahan masalah di masa depan (Rahman et al., 2024; Wang et al., 2023).

Masalah utama literasi sains bukan hanya kurangnya pengetahuan, tetapi rendahnya kemampuan evaluatif. Mahasiswa masih kesulitan mengidentifikasi ide ilmiah valid, membedakan sumber, dan memvalidasi literatur (Toharudin et al., 2023). Kelemahan ini berdampak pada kemampuan inferensi dan analisis data yang sulit ditingkatkan meskipun telah dilakukan intervensi pembelajaran (Kranz et al., 2023), menunjukkan bahwa tantangan utama terletak pada rendahnya keterampilan

penalaran tingkat tinggi (Harshberger, 2024).

Kondisi ini kontras dengan tuntutan kompetensi pendidik. Guru biologi telah menunjukkan habits of mind yang baik seperti berpikir kritis dan kreatif (Hizqiyah et al., 2019), namun mahasiswa calon guru masih mengalami kesulitan dalam analisis dan inferensi, menunjukkan belum optimalnya transfer keterampilan di perguruan tinggi. Pembelajaran konvensional belum cukup memfasilitasi internalisasi kemampuan evaluatif berbasis bukti, sehingga diperlukan media pembelajaran yang lebih tepat.

Permasalahan ini juga terlihat pada mata kuliah Entomologi Pertanian. Berdasarkan studi pendahuluan, capaian mahasiswa pada kemampuan analisis fenomena dan solusi inovatif masih rendah. Hal ini dipengaruhi oleh kompleksitas materi seperti morfologi dan ekologi serangga (Jambagi et al., 2023), serta penggunaan LKM cetak dengan visualisasi 2D. Representasi ini tidak mampu menggambarkan struktur secara spasial sehingga meningkatkan beban kognitif (Asmirajanti & Tamly, 2024; Kalyuga & Singh, 2016; Yoon et al., 2017). Akibatnya, kapasitas kognitif mahasiswa habis untuk visualisasi dasar sehingga kemampuan analisis dan evaluasi menjadi terhambat (Sweller, 1988), yang berdampak pada stagnasi literasi sains dan berpikir kritis (Callohuari et al., 2025).

Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan integrasi Problem Based Learning (PBL) dan Augmented Reality (AR) dalam bentuk E-Worksheet. PBL menghadirkan masalah kontekstual yang menuntut literasi sains (Thorndahl & Stentoft, 2020), sedangkan AR membantu mengurangi beban kognitif melalui visualisasi 3D (Goldner et al., 2021). Kombinasi ini membebaskan kapasitas kognitif untuk berpikir tingkat tinggi seperti analisis dan evaluasi (Sweller, 1988; Yoon et al., 2017). Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa E-Worksheet berbantuan AR efektif meningkatkan pemahaman konsep dan berpikir kritis (Herliandry et al., 2021).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan E-Worksheet PBL berbantuan AR pada materi Entomologi Pertanian yang layak, praktis, dan efektif untuk meningkatkan literasi sains serta berpikir kritis mahasiswa secara simultan. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi PBL dan AR secara khusus pada materi Entomologi Pertanian yang kompleks, dengan fungsi ganda yaitu mengurangi beban kognitif sekaligus meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan (*Research and Development/R&D*) yang bertujuan menghasilkan E-Worksheet (lembar kerja mahasiswa elektronik) berbasis *Problem Based Learning* (PBL) berbantuan *Augmented Reality* (AR) pada materi Entomologi Pertanian yang valid dan efektif (Sugiyono, 2020). Model pengembangan yang digunakan adalah ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) (Branch, 2010;

Maharani & Hamid, 2024).

Tahap *analysis* dilakukan melalui analisis kebutuhan dan tujuan pembelajaran untuk mengidentifikasi permasalahan sebelum pengembangan produk (Nurhasanah et al., 2022). Analisis kebutuhan dilakukan melalui wawancara dosen, angket mahasiswa, dan observasi lapangan (Goyibova et al., 2025).

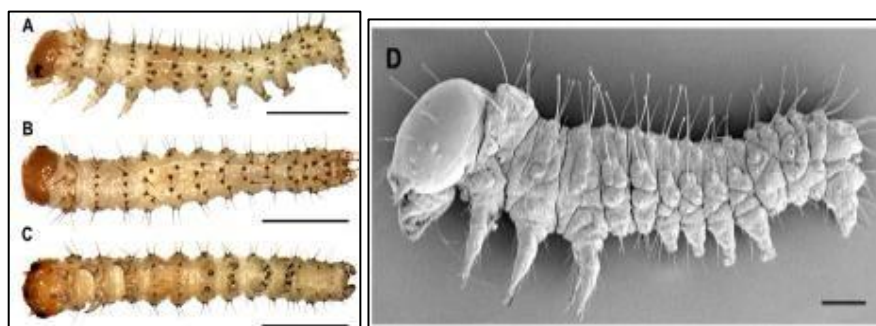
Tahap *design* mencakup perancangan komponen E-Worksheet secara menyeluruh, meliputi tujuan pembelajaran, langkah pembelajaran, sistematika materi, evaluasi, dan integrasi AR (Cahyadi, 2019; Wardani & Romadon, 2023; Zaswita & Kabatiah, 2024). Tujuan pembelajaran disusun berdasarkan RPS, CPL, dan CPMK (Pitasari & Dwi Febriyanti, 2023), sedangkan alur pembelajaran disesuaikan dengan alokasi waktu (Kiperwasser & Ballesteros, 2018). Sintaks PBL mengacu pada Aroyandini (2021), yaitu orientasi masalah, pengorganisasian belajar, penyelidikan, pengembangan hasil, serta evaluasi proses pemecahan masalah.

Instrumen evaluasi terdiri atas 15 soal literasi sains berbasis kerangka PISA OECD (2019) yang mencakup konteks, pengetahuan, dan kompetensi, serta 20 soal berpikir kritis berdasarkan Facione (2013) yang mencakup interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, regulasi diri, dan penalaran eksplanatif.

Integrasi AR dikembangkan menggunakan Blender 3D dengan dua spesimen digital, yaitu *Thrips parvispinus* (Thysanoptera) dan *Spodoptera litura* (Lepidoptera), yang diakses melalui Assemblr Edu (Fitria & Putri, 2024; Maron et al., 2023).



Gambar 1. *Thrips parvispinus* bahan Spesimen Digital AR
(Sumber : Manideep et al., 2024)



Gambar 2. *Spodoptera frugiperda* bahan Spesimen Digital AR
(Sumber : Hu et al., 2021)

Tahap development dilakukan melalui uji kelayakan dan kepraktisan E-Worksheet sebelum implementasi (Adeoye et al., 2024). Visualisasi AR serangga diintegrasikan ke dalam E-Worksheet PBL Entomologi Pertanian. Kelayakan diuji dengan angket untuk memastikan fungsi, meminimalkan kesalahan, dan dasar revisi (Ferdian et al., 2025), kemudian diuji ulang oleh dosen dan 25 alumni Entomologi (Zhang & Weldon, 2025).

Instrumen evaluasi diuji meliputi validitas (Pearson Correlation), reliabilitas (Cronbach's Alpha), tingkat kesukaran (indeks P), dan daya pembeda (indeks D) (Schober & Schwarte, 2018; Taber, 2018; Rezigalla et al., 2024; Asrul et al., 2014; Fatimah & Alfath, 2019).

Tahap implementation menggunakan kuasi eksperimen pretest–posttest non-equivalent control group (Sugiyono, 2020) pada mahasiswa semester VIII Pendidikan Biologi Universitas Pasundan (Danuri & Maisaroh, 2019), masing-masing 26 mahasiswa pada kelas eksperimen (PBL+AR) dan kontrol (tanpa AR). Efektivitas diukur melalui perbandingan pretest–posttest literasi sains dan berpikir kritis (Nayeri et al., 2023) pada mahasiswa yang telah menempuh Entomologi serta lulus Zoologi Invertebrata dan Hortikultura (Hari et al., 2025).

Tahap evaluation menilai kelayakan, kepraktisan, dan efektivitas berdasarkan ahli (dokter bidang media dan Entomologi) serta respons pengguna sesuai Tabel 1 (Danuri & Maisaroh, 2019).

Tabel 1. Kriteria Kelayakan dan Kepraktisan Produk

Interval	Kriteria Kelayakan	Kriteria Kepraktisan
81-100	Sangat layak	Sangat praktis
61-80	Layak	Praktis
41-60	Cukup	Cukup
21-40	Kurang layak	Kurang praktis
≤ 20	Sangat kurang layak	Sangat kurang praktis

(Sukowati *et al.*, 2025; Wardah & Dewi, 2024)

Efektivitas produk terhadap peningkatan kemampuan literasi sains dan berpikir kritis dianalisis melalui statistik deskriptif dan inferensial. Analisis deskriptif dilakukan menggunakan perhitungan *n-gain score* dan persentase peningkatan pada aspek literasi sains berdasarkan kriteria pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Capaian Kemampuan Literasi Sains

Rentang	Kriteria
≤71-100	Tinggi
30-70	Sedang
<3	Rendah

(Mufidah & Dwiningsih, 2024)

Tingkat pencapaian setiap dimensi diinterpretasikan berdasarkan kriteria peningkatan yang ditunjukkan pada Tabel 3 (Herawati & Muhtadi, 2018)., sehingga dapat memberikan gambaran rinci mengenai dimensi berpikir kritis yang mengalami peningkatan dominan maupun yang masih memerlukan penguatan.

Tabel 3. Kriteria Tingkat Kemampuan Berpikir Kritis

Rentang	Kriteria
81-100	Sangat Tinggi
61-80	Tinggi
41-60	Cukup
21-40	Rendah
0-20	Rendah Sekali

(Agnafia, 2019)

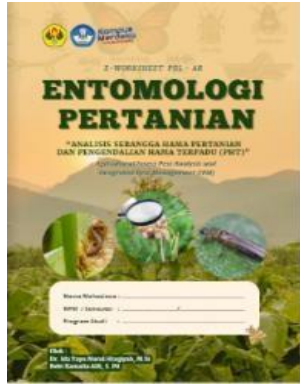
Analisis inferensial dalam penelitian ini menggunakan *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA) untuk menguji pengaruh penggunaan *E-Worksheet Problem Based Learning* (PBL) berbantuan *Augmented Reality* (AR) terhadap kemampuan literasi sains dan berpikir kritis mahasiswa secara simultan. Pemilihan MANOVA didasarkan pada pertimbangan bahwa kedua variabel dependen tersebut saling berkorelasi, sehingga analisis multivariat lebih tepat digunakan dibandingkan analisis univariat terpisah karena mampu menguji pengaruh perlakuan secara bersama-sama sekaligus mengendalikan *experimentwise error rate* (Tabachnick & Fidell, 2013; Smith et al., 2020; Yunitasari & Pratama, 2024).

Sebelum uji hipotesis dilakukan, terlebih dahulu dilaksanakan uji prasyarat MANOVA yang meliputi uji normalitas multivariat untuk memastikan data berdistribusi normal, uji homogenitas varians menggunakan *Levene's Test* untuk mengetahui kesamaan varians antar kelompok, uji homogenitas matriks kovarians menggunakan *Box's M Test* untuk menguji kesetaraan matriks kovarians antar kelompok, serta uji korelasi antarvariabel dependen untuk memastikan adanya hubungan yang mendukung penggunaan analisis multivariat (Tabachnick & Fidell, 2013).

Pengolahan data dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak SPSS versi 29 dengan pengujian multivariat berdasarkan empat statistik utama, yaitu *Pillai's Trace*, *Wilks' Lambda*, *Hotelling's Trace*, dan *Roy's Largest Root*. Keempat statistik tersebut digunakan untuk memperkuat interpretasi pengaruh perlakuan, dengan keputusan signifikansi ditentukan pada taraf $\alpha = 0,05$ ($p < 0,05$) (Zhu et al., 2022).

HASIL PENELITIAN

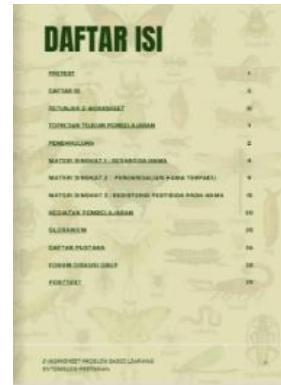
Kerangka produk *E-Worksheet* PBL berbantuan AR pada Entomologi Pertanian ditampilkan pada Gambar 3.



Halaman Depan



Pretest



Daftar Isi



Petunjuk



Topik dan Tujuan Pembelajaran



Pendahuluan



Materi Singkat 1 “Serangga Hama”



Materi Singkat 2 “Pengendalian Hama Terpadu”



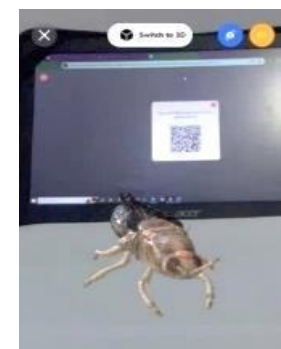
Materi Singkat 3 “Resistensi Pestisida pada Hama”



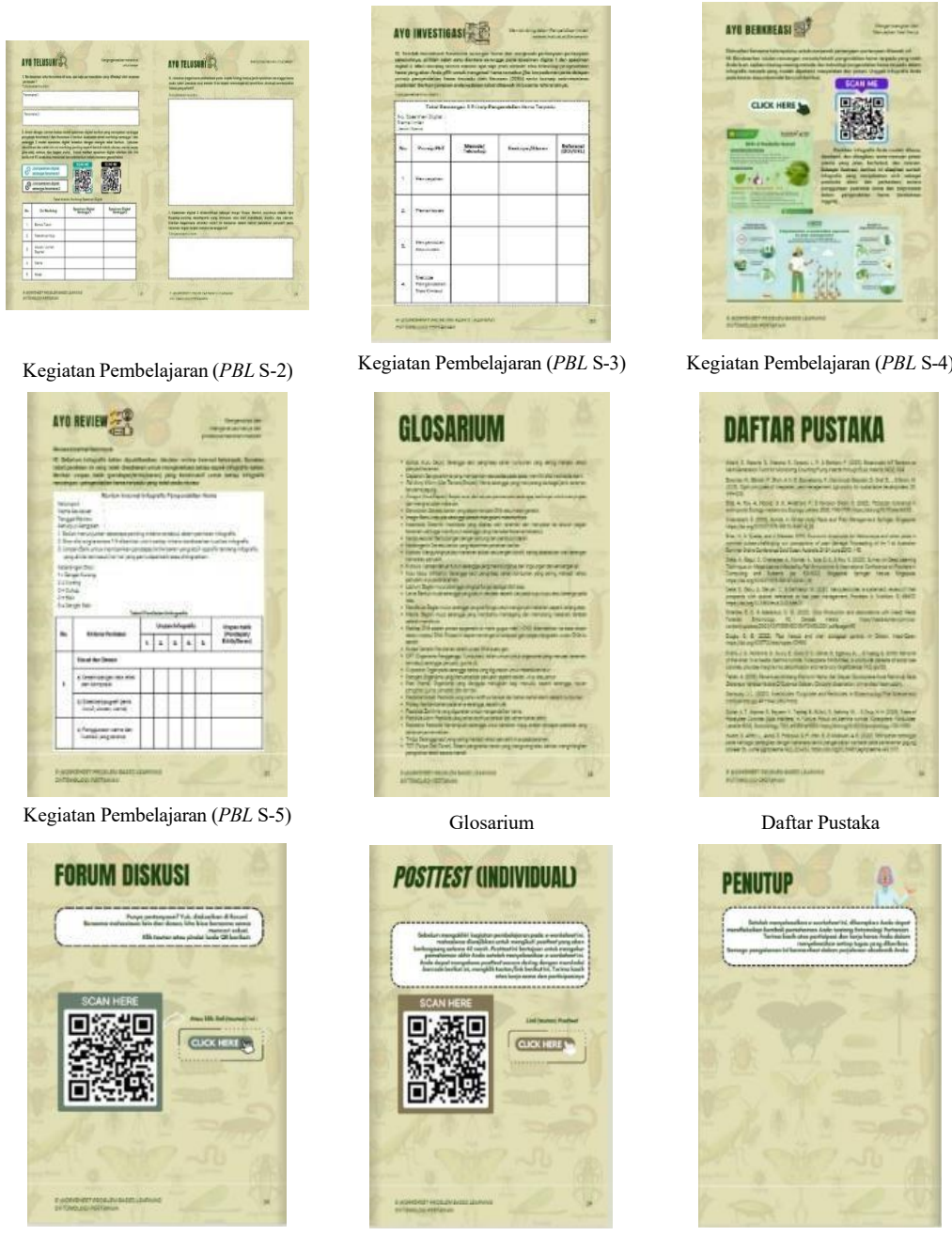
Kegiatan Pembelajaran (PBL S-1)



Tampilan Spesimen Digital Serangga 1



Tampilan Spesimen Digital Serangga 2



Kegiatan Pembelajaran (PBL S-2)

Kegiatan Pembelajaran (PBL S-3)

Kegiatan Pembelajaran (PBL S-4)

Kegiatan Pembelajaran (PBL S-5)

Glosarium

Daftar Pustaka

Forum Diskusi

Posttest (Individual)

Penutup

Gambar 3. Hasil Pengembangan E-Worksheet PBL Berbantuan AR pada Materi Entomologi Pertanian

Tahap validasi ahli media dilakukan untuk menilai kelayakan E-Worksheet PBL berbantuan AR pada materi Entomologi Pertanian dari aspek tampilan, akses penggunaan, dan tata bahasa. Penilaian ini bertujuan memastikan produk yang dikembangkan telah memenuhi standar media pembelajaran yang baik sebelum diimplementasikan pada tahap uji coba. Hasil validasi ahli media disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Kelayakan Produk oleh Ahli Media

No.	Aspek Penilaian	Skor	Maks.	Persentase	Kategori
1.	Aspek Tampilan dan Grafis	56	60	93%	Sangat Layak
2.	Aspek Akses Penggunaan	18	20	90%	Sangat Layak
3.	Aspek Tata Bahasa	18	20	90%	Sangat Layak
Rata-Rata Akhir				91%	Sangat Layak

Berdasarkan Tabel 4, hasil validasi oleh ahli media memperoleh skor total 91 dari 100 dengan kriteria “layak diuji coba lapangan dengan revisi”. Persentase validasi menunjukkan bahwa aspek tampilan dan grafis memperoleh nilai tertinggi sebesar 93%, yang mengindikasikan desain E-Worksheet dinilai menarik, sistematis, dan mendukung keterlibatan pengguna dalam proses pembelajaran. Sementara itu, aspek akses penggunaan dan tata bahasa masing-masing memperoleh persentase 90%, yang menunjukkan produk mudah digunakan serta memiliki penggunaan bahasa yang sesuai dan komunikatif.

Secara keseluruhan, rata-rata persentase kelayakan sebesar 91% menempatkan E-Worksheet PBL berbantuan AR pada kategori sangat layak. Hasil ini menunjukkan bahwa media yang dikembangkan telah memenuhi indikator kualitas media pembelajaran interaktif, baik dari segi visual, kemudahan akses, maupun keterbacaan bahasa. Meskipun demikian, saran revisi dari validator tetap menjadi dasar untuk penyempurnaan produk sebelum dilanjutkan ke tahap uji coba lapangan.

Selain validasi media, produk yang dikembangkan juga diuji kelayakannya oleh ahli materi untuk memastikan kesesuaian isi, karakteristik model pembelajaran berbasis *problem based learning*, dan penggunaan bahasa dalam produk. Validasi ini dilakukan untuk menilai ketepatan substansi materi Entomologi Pertanian yang disajikan dalam E-Worksheet. Hasil validasi ahli materi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Kelayakan Produk Oleh Ahli Materi

No.	Aspek Penilaian	Skor	Maks.	Persentase	Kategori
1.	Aspek Materi/Substansi Isi.	20	20	100%	Sangat Layak
2.	Aspek Karakteristik E-Worksheet berbasis <i>Problem based learning</i> .	20	20	100%	Sangat Layak
3.	Aspek Tata Bahasa	18	20	90%	Sangat Layak
Rata-Rata Akhir				96,7%	Sangat Layak

Berdasarkan Tabel 5, hasil validasi ahli materi memperoleh skor 56 dari 60 dengan kriteria “layak diuji coba lapangan dengan revisi”. Persentase validasi menunjukkan bahwa aspek materi/substansi isi dan karakteristik E-Worksheet

berbasis *problem based learning* masing-masing memperoleh nilai 100%, yang menunjukkan materi yang disajikan dinilai relevan, sesuai capaian pembelajaran, dan mampu mengakomodasi sintaks pembelajaran berbasis masalah secara optimal.

Pada aspek tata bahasa diperoleh persentase 90%, yang menunjukkan penggunaan bahasa dalam E-Worksheet sudah baik, meskipun masih terdapat beberapa bagian yang perlu disempurnakan. Secara keseluruhan, rata-rata persentase kelayakan sebesar 96,7% menempatkan produk pada kategori sangat layak. Hasil ini menunjukkan bahwa produk tidak hanya layak dari sisi tampilan media, tetapi juga memiliki kualitas substansi materi yang sangat baik. Selain itu, validasi ahli materi menghasilkan tiga komentar dan saran yang digunakan sebagai dasar revisi tahap I guna meningkatkan kualitas produk sebelum diterapkan pada uji coba terbatas.

Kepraktisan produk bertujuan mengetahui tingkat kemudahan penggunaan, kebermanfaatan, dan keterterimaan E-Worksheet PBL berbantuan AR oleh pengguna. Pengujian kepraktisan dilakukan melalui angket kepada dosen Entomologi dan mahasiswa pada tahap uji coba terbatas maupun uji lapangan.

Penilaian kepraktisan oleh dosen Entomologi dilakukan untuk memperoleh tanggapan pengguna ahli terhadap penggunaan produk dalam pembelajaran. Hasil uji kepraktisan dosen disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Kepraktisan Produk oleh Dosen Entomologi

No	Aspek Penilaian	Skor	Skor Maksimum	Rata-rata	%	Kategori
1	Aksesibilitas	12	12	4,00	100%	Sangat Praktis
2	Materi/Substansi Isi	12	12	4,00	100%	Sangat Praktis
3	Penyajian Tata Bahasa	24	24	4,00	100%	Sangat Praktis
4	Tampilan Grafis	15	16	3,75	94%	Sangat Praktis
5	Fitur AR & E-Worksheet	15	16	3,75	94%	Sangat Praktis
Rata-rata Akhir				3,9	97,6%	Sangat Praktis

Berdasarkan Tabel 6, hasil uji kepraktisan oleh dosen Entomologi memperoleh persentase sebesar 97,6%, sehingga produk dikategorikan sangat praktis. Persentase yang tinggi ini menunjukkan bahwa E-Worksheet yang dikembangkan dinilai mudah digunakan, mendukung proses pembelajaran, dan memiliki fitur yang fungsional serta sesuai kebutuhan pembelajaran Entomologi Pertanian.

Tingkat kepraktisan yang sangat tinggi ini juga menunjukkan bahwa integrasi teknologi augmented reality dan pendekatan *problem based learning* dalam E-Worksheet dapat diterima dengan baik oleh pengguna ahli sebagai inovasi media pembelajaran.

Uji kepraktisan berikutnya dilakukan pada mahasiswa melalui uji coba terbatas yang melibatkan 25 responden untuk mengetahui respons pengguna awal terhadap produk yang dikembangkan. Hasil penilaian disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Uji Kepraktisan Produk oleh Responden Mahasiswa (Uji Coba Terbatas)

No	Penilaian	Aspek	Skor Rata-Rata (%)	Kriteria
1.	Aksesibilitas	3,76	94,00	Sangat Praktis
2.	Konten Materi	3,85	96,33	Sangat Praktis
3.	Tata Bahasa	3,73	93,17	Sangat Praktis
4.	Tampilan Grafis	3,84	96,00	Sangat Praktis
5.	Fitur AR & E-Worksheet	3,82	96,50	Sangat Praktis
Rata-Rata Akhir		3,8	95,00	Sangat Praktis

Berdasarkan Tabel 7, hasil uji kepraktisan pada uji coba terbatas memperoleh rata-rata persentase sebesar 95% dengan kategori **sangat praktis**. Persentase tertinggi diperoleh pada aspek fitur AR sebesar 96,50%, yang menunjukkan mahasiswa memberikan respons positif terhadap penggunaan teknologi augmented reality sebagai fitur pendukung visualisasi materi.

Aspek konten materi dan tampilan grafis juga memperoleh persentase tinggi, yaitu masing-masing 96,33% dan 96,00%, yang menunjukkan materi mudah dipahami dan desain produk menarik bagi pengguna. Sementara itu, aspek tata bahasa memperoleh persentase terendah sebesar 93,17%, namun masih berada pada kategori sangat praktis. Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa produk mudah digunakan, menarik, dan mampu mendukung pembelajaran secara efektif.

Setelah melalui uji coba terbatas, pengujian kepraktisan dilanjutkan pada tahap uji lapangan untuk mengetahui konsistensi kepraktisan produk dalam penggunaan yang lebih luas. Uji lapangan melibatkan 26 responden dari kelompok eksperimen. Hasil penilaian disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Uji Kepraktisan Produk oleh Responden Mahasiswa (Uji Lapangan)

No	Aspek Penilaian	Skor Rata-rata	%	Kriteria
1	Aksesibilitas	3,50	87,50	Sangat Praktis
2	Konten Materi	3,67	91,75	Sangat Praktis
3	Tata Bahasa	3,55	88,75	Sangat Praktis
4	Tampilan Grafis	3,78	94,50	Sangat Praktis
5	Fitur AR	3,55	88,75	Sangat Praktis
Rata-Rata Akhir		3,61	90,25	Sangat Praktis

Berdasarkan Tabel 8, hasil uji kepraktisan pada tahap uji lapangan memperoleh persentase rata-rata sebesar 90,25%, sehingga produk tetap berada pada kategori sangat praktis. Aspek tampilan grafis memperoleh persentase tertinggi sebesar 94,50%, menunjukkan visualisasi produk tetap menjadi kekuatan utama dalam implementasi lapangan.

Sementara itu, aspek aksesibilitas memperoleh persentase terendah sebesar 87,50%, namun masih berada pada kategori sangat praktis. Perbedaan persentase antar aspek menunjukkan adanya variasi pengalaman pengguna selama

implementasi lapangan, namun secara keseluruhan seluruh indikator menunjukkan respons positif terhadap penggunaan E-Worksheet.

Hasil uji lapangan ini memperkuat bahwa produk yang dikembangkan tidak hanya valid secara isi dan media, tetapi juga praktis digunakan dalam pembelajaran nyata. Dengan demikian, E-Worksheet PBL berbantuan AR pada materi Entomologi Pertanian dinilai memenuhi aspek kelayakan dan kepraktisan sebagai media pembelajaran inovatif.

Efektivitas E-Worksheet PBL berbantuan AR dalam meningkatkan literasi sains mahasiswa dianalisis melalui hasil pretest dan posttest pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Analisis ini dilakukan untuk melihat perubahan kemampuan literasi sains mahasiswa setelah penerapan produk, sekaligus membandingkan peningkatan hasil belajar antara kelas yang menggunakan E-Worksheet berbantuan AR dan kelas yang menggunakan pembelajaran konvensional. Hasil analisis deskriptif dan *N-gain* disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Analisis Deskriptif dan N-Gain Literasi Sains

No	Analisis	Kelas Eksperimen Pretest	Kelas Eksperimen Posttest	Kelas Kontrol Pretest	Kelas Kontrol Posttest
1	Mean	66,7	82,8	61,79	77,50
2	Standar Deviasi	13,2	10,2	16,80	11,41
3	Nilai Minimum	40,0	53,3	20	53,33
4	Nilai Maksimum	86,7	100,0	86,67	100
5	Rata-rata <i>N-gain</i> (Kategori)	0,48 (Sedang)		0,38 (Sedang)	

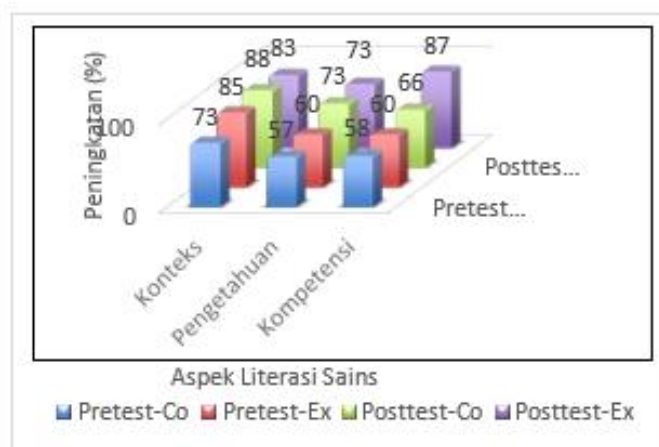
Berdasarkan Tabel 9, hasil analisis deskriptif menunjukkan adanya peningkatan kemampuan literasi sains pada kedua kelas setelah pembelajaran. Pada kelas eksperimen, rata-rata nilai meningkat dari 66,7 menjadi 82,8, sedangkan pada kelas kontrol dari 61,79 menjadi 77,50. Peningkatan pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Selain itu, penurunan standar deviasi pada kedua kelas menunjukkan sebaran nilai mahasiswa menjadi lebih homogen setelah pembelajaran.

Nilai minimum dan maksimum juga mengalami peningkatan pada kedua kelas, dengan nilai maksimum posttest kedua kelas mencapai 100. Berdasarkan analisis *N-gain*, kelas eksperimen memperoleh nilai 0,48 (kategori sedang), lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,38 (kategori sedang). Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan E-Worksheet PBL berbantuan AR lebih efektif meningkatkan literasi sains dibandingkan pembelajaran pada kelas kontrol.

Secara keseluruhan, peningkatan skor posttest dan nilai *N-gain* yang lebih tinggi pada kelas eksperimen menunjukkan bahwa E-Worksheet PBL berbantuan AR efektif mendukung peningkatan kemampuan literasi sains mahasiswa.

Untuk melihat peningkatan tiap aspek literasi sains secara lebih rinci, dilakukan analisis berdasarkan aspek literasi sains PISA yang meliputi konteks,

pengetahuan, dan kompetensi. Hasil peningkatan tiap aspek tersebut disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Peningkatan Aspek Literasi Sains

Data peningkatan aspek literasi sains PISA pada gambar 4, menunjukkan kedua kelompok mengalami peningkatan kemampuan dari *pretest* ke *posttest*. Pada tahap *pretest*, kelompok kontrol dan kelompok eksperimen memiliki capaian yang relatif serupa dengan aspek konteks menjadi yang tertinggi (kontrol 73%, eksperimen 83%), diikuti oleh aspek pengetahuan (kontrol 57%, eksperimen 60%), dan kompetensi (kontrol 58%, eksperimen 66%). Namun, setelah implementasi perlakuan (*posttest*), kelompok eksperimen menunjukkan peningkatan yang jauh lebih besar dibandingkan kelompok kontrol pada semua aspek. Peningkatan paling substansial terlihat pada aspek kompetensi, dengan lonjakan signifikan dari 66% menjadi 87%, sementara kelompok kontrol hanya meningkat menjadi 73%. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan memiliki efektivitas tinggi dalam meningkatkan literasi sains mahasiswa, khususnya dalam aspek keterampilan ilmiah dan interpretasi data.

Selain literasi sains, efektivitas produk juga dianalisis terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis mahasiswa melalui hasil *pretest*, *posttest*, dan *N-gain*. Hasil analisis deskriptif kemampuan berpikir kritis disajikan pada Tabel 10.

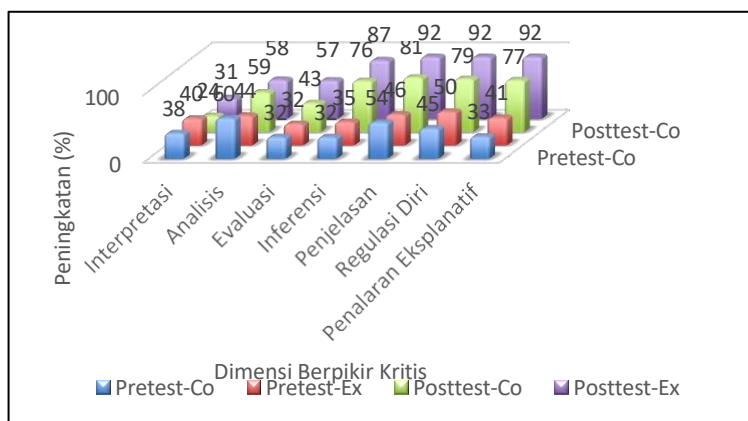
Tabel 10. Hasil Analisis Deskriptif Berpikir Kritis

No	Analisis	Kelas Eksperimen Pretest	Kelas Eksperimen Posttest	Kelas Kontrol Pretest	Kelas Kontrol Posttest
1	Mean	40	70	40,38	60,38
2	Standar Deviasi	17,15	11,27	19,95	13,44
3	Nilai Minimum	10	40	10	30
4	Nilai Maksimum	80	95	75	80
5	Rata-rata N-gain (Kategori)	0,48 (Sedang)		0,30 (Rendah)	

Berdasarkan Tabel 10, nilai rata-rata *pretest* kelas eksperimen meningkat dari 40 menjadi 70, sedangkan kelas kontrol dari 40,38 menjadi 60,38. *N-gain* kelas

eksperimen (0,48) berada pada kategori sedang, lebih tinggi dibanding kontrol (0,30) yang berada pada kategori rendah, menunjukkan efektivitas E-Worksheet PBL berbantuan AR dalam meningkatkan berpikir kritis.

Peningkatan tiap aspek berpikir kritis berdasarkan Facione disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Peningkatan Aspek Berpikir Kritis

Berdasarkan Gambar 5, kedua kelompok mengalami peningkatan berpikir kritis, namun peningkatan pada kelompok eksperimen lebih tinggi, terutama pada aspek penalaran eksplanatif dan regulasi diri (92%), dibanding kontrol (79% dan 81%). Hal ini menunjukkan efektivitas produk dalam meningkatkan komponen utama berpikir kritis.

Pengaruh simultan terhadap literasi sains dan berpikir kritis dianalisis menggunakan MANOVA, dengan hasil dan effect size disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Uji *MANOVA* dan Uji *Effect Size*

Statistik Multivariat	Nilai	F	df Hipotesis	df Error	Sig.	Partial Eta Squared
<i>Pillai's Trace</i>	140	3,996	2	49	0,025	0,140
<i>Wilks' Lambda</i>	860	3,996	2	49	0,025	0,140

Berdasarkan Tabel 11, uji MANOVA menunjukkan signifikansi *Pillai's Trace* dan *Wilks' Lambda* sebesar 0,025 ($p < 0,05$), sehingga H_0 ditolak. Hasil ini menunjukkan E-Worksheet PBL berbantuan AR berpengaruh signifikan secara simultan terhadap literasi sains dan berpikir kritis. Nilai *Partial Eta Squared* sebesar 0,140 menunjukkan pengaruh kategori sedang. Uji univariat menunjukkan perbedaan signifikan pada berpikir kritis ($p = 0,008$), tetapi tidak pada literasi sains ($p = 0,084$), sehingga intervensi lebih efektif pada peningkatan berpikir kritis.

PEMBAHASAN

Hasil kelayakan ahli media pada E-Worksheet PBL berbantuan AR pada

materi Entomologi Pertanian menunjukkan bahwa produk memiliki desain menarik, fungsional, dan penggunaan bahasa yang sesuai (Rahmayani & Atmazaki, 2025). Kategori ini sejalan dengan penelitian e-worksheet lain yang juga dinyatakan sangat layak (*very proper*) (Elvanuari et al., 2024). Revisi yang dilakukan mencakup perbaikan logo, bahasa baku pada petunjuk, verifikasi fungsi gambar, serta kelengkapan sintaks PBL.

Sejalan dengan itu, ahli materi juga menyatakan produk **sangat layak**, menunjukkan kesesuaian substansi dengan prinsip PBL. Hal ini didukung oleh efektivitas *student worksheet* berbasis PBL dalam pembelajaran (Istiqomah & Sipahutar, 2025) serta pengembangan e-worksheet PBL yang meningkatkan kemampuan pemecahan masalah (Deti & Rohaeti, 2024). Revisi ahli materi meliputi desain halaman depan, penomoran subbab, dan penulisan istilah Inggris, yang seluruhnya telah ditindaklanjuti sebelum uji lapangan.

Uji kepraktisan menunjukkan bahwa produk sangat praktis dan layak digunakan dalam pembelajaran. Hasil ini diperkuat oleh penilaian dosen Entomologi serta konsisten dengan penelitian e-worksheet lain (Fitriandini & Isnawati, 2025). Kepraktisan merupakan hasil konvergensi penilaian dosen dan pengguna (Darma et al., 2021), serta menunjukkan bahwa integrasi AR dan komponen interaktif telah fungsional dan sesuai kebutuhan pembelajaran (Atmaja et al., 2025; Sorte & Kim, 2023).

Respons mahasiswa juga menunjukkan kategori **sangat praktis**, menandakan pengalaman pengguna yang baik, mudah digunakan, dan menarik secara visual (Mayasari et al., 2022; Taqwa et al., 2023). Hasil ini sejalan dengan penelitian e-worksheet interaktif berbasis digital (Rahmayani & Atmazaki, 2025). Keselarasan antara dosen dan mahasiswa menunjukkan produk layak diimplementasikan lebih luas.

Keefektifan produk dilihat dari literasi sains dan berpikir kritis mahasiswa (Hayati et al., 2025). Literasi sains mencakup konteks, pengetahuan, dan kompetensi (OECD, 2019), sedangkan berpikir kritis meliputi tujuh dimensi Facione & Facione (2013). Instrumen evaluasi disusun berbasis indikator tersebut (Arsyad, 2023; Prabowo & Fidiastuti, 2017; Sofianti et al., 2024) dengan konteks Entomologi Pertanian (Savika & Zuhriyah, 2024).

Hasil MANOVA menunjukkan perbedaan signifikan antara kelas eksperimen dan kontrol, menegaskan efektivitas produk. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Wahyu et al., 2021), serta didukung efektivitas AR (Yusuf, 2025) dan PBL dalam meningkatkan berpikir kritis (Montafej et al., 2022). Hasil serupa juga ditemukan pada integrasi PBL–AR di berbagai jenjang pendidikan (Martono & Aloysus, 2025; Sumarhadi & Supahar, 2025).

Peningkatan literasi sains terjadi pada aspek konteks, pengetahuan, dan kompetensi (OECD, 2019; Supahar & Widodo, 2021). PBL melatih pemahaman konteks melalui orientasi masalah (Karmila et al., 2021; Mufidah & Dwiningsih, 2024) dan meningkatkan keterhubungan konsep dengan kehidupan nyata

(Aroyandini, 2021; Lubis et al., 2022). Aspek pengetahuan berkembang melalui tahap organisasi belajar (Turkan et al., 2017), sedangkan kompetensi meningkat terutama pada analisis data (Syawaludin et al., 2019; Masnick & Morris, 2022).

Peningkatan berpikir kritis paling dominan terjadi pada inferensi dan penalaran eksplanatif (Erwinsyah et al., 2025; Marthaliakirana et al., 2022), yang berkaitan dengan pengambilan keputusan berbasis bukti (Baxtiyorovna et al., 2025; Tawfik & Gatewood, 2022). AR berperan dalam meningkatkan interpretasi, analisis, evaluasi, dan regulasi diri (Prabowo & Andayani, 2025), dengan visualisasi 3D yang lebih efektif dibanding 2D (Paneo et al., 2024; Setiawan et al., 2023; Barta et al., 2023).

AR juga mendukung pembelajaran eksploratif dan pengujian hipotesis (Shardlow et al., 2018; Veenman, 2016), serta memperkuat pemahaman melalui representasi ganda teks–visual (Mayer, 2014; Evagorou et al., 2015). Proses ini mendorong konstruksi pengetahuan aktif (Piaget & Inhelder, 1969; Cosme et al., 2020) dan meningkatkan kemampuan berpikir kritis (Demircioglu et al., 2023).

Secara keseluruhan, E-Worksheet PBL berbantuan AR efektif meningkatkan literasi sains dan berpikir kritis. Kedua kemampuan ini saling berhubungan, di mana berpikir kritis menjadi dasar literasi sains (Cavagnetto, 2010; OECD, 2019; Sengul, 2019) dan mendukung evaluasi bukti ilmiah (Facione & Facione, 2013; Sharon & Baram-Tsabari, 2020). Literasi sains dan berpikir kritis bersama-sama memperkuat pengambilan keputusan berbasis ilmiah (Santos, 2017).

Selain itu, produk ini juga menurunkan beban kognitif mahasiswa melalui visualisasi AR 3D yang mempermudah pemahaman konsep kompleks (Goldner et al., 2021; Barta et al., 2023). Integrasi teks dan AR menciptakan representasi ganda yang memperkuat pemahaman (Mayer, 2014; Evagorou et al., 2015), meningkatkan retensi, serta mendukung konstruksi pengetahuan mandiri (Piaget & Inhelder, 1969; Cosme et al., 2020; Athya et al., 2025).

SIMPULAN

E-Worksheet PBL berbantuan AR pada materi Entomologi Pertanian yang dikembangkan layak digunakan dalam pembelajaran berdasarkan validasi ahli. Produk ini juga praktis digunakan oleh dosen dan mahasiswa dalam proses pembelajaran. Selain itu, E-Worksheet PBL berbantuan AR efektif dalam meningkatkan literasi sains dan berpikir kritis mahasiswa Pendidikan Biologi secara simultan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeoye, M. A., Wirawan, K. A. S. I., Pradnyani, M. S. S., & Septiarini, N. I. (2024). Revolutionizing Education: Unleashing the Power of the ADDIE Model for Effective Teaching and Learning. *JPI (Jurnal Pendidikan Indonesia)*, 13(1), 202–209. <https://doi.org/10.23887/jpiundiksha.v13i1.68624>
- Agnafia, D. N. (2019). Analisis Kemampuan Berfikir Kritis peserta didik Dalam

- Pembelajaran Biologi. *Florea*, 6(1), 45–53.
<https://doi.org/10.25273/florea.v6i1.4369>
- Agustiawan, F., & Nurcahyo, H. (2022). The Effectiveness of The Problem Based Learning Model with Augmented Reality Media to Enhance Student Critical Thinking Skills in Online Learning. *AIP Conference Proceedings*, 2468(1), 30017.
- Anwar, Y., Permata, S., & Ermayanti. (2020). Measuring Biology Educations Students' Critical Thinking Skill Using Online Systems. *Journal of Physics: Conference Series*, 1480(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1480/1/012068>
- Aroyandini, E. N. (2021). *Keefektifan E-module Problem based learning (PBL) Topik Virus untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep dan Kemampuan Berfikir Kritis Mahasiswa Pendidikan Biologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta*.
- Arsyad, M. (2023). Correlation Between Numerical Interpretation and Analysis Abilities with Critical Analysis Ability on Biology Education Students. *BIO-INOVED : Jurnal Biologi-Inovasi Pendidikan*, 5(2), 164. <https://doi.org/10.20527/bino.v5i2.15476>
- Arwen, D., Chabibah, N., Suharti, D. S., Rasydy, L. O. A., Gunawan, Y. I., Juana, N. A., Yusmaliana, D., Sudarmanto, E., Possumah, L. M. A. B., & Mayratih, S. (2025). *Pembelajaran Inovatif di Perguruan Tinggi*. Penerbit Minhaj Pustaka Indonesia.
- Asmirajanti, M., & Tamly, W. (2024). Enhancing Clinical Reasoning and Student Critical Thinking for Patient Safety with Virtual Reality Applications in Nursing Education : A Systematic Review. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences (EISSN)*, 20(July), 309–314. <https://doi.org/10.47836/mjmhs20.4.38>
- Asrul, Ananda, R., & Rosinta. (2014). Evaluasi Pembelajaran. In *Ciptapustaka Media*.
- Athya, D. P., Nehru, J., Vishwa, K., Jabalpur, V., Tomar, N., & Chadar, N. (2025). Digital Innovations and ICT Tools in Teaching Applied Entomology : A Review. *Journal of Scientific Research and Reports*, 31(10), 14. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2025/v31i103589>
- Atmaja, D. Y. S., Amelia, R., Harahap, S. A. N., Ardiansyah, Abd Aziz, Kamilah, D. S., Budiman, J. Y., Valda, V., Sumiati, Illahi, B. K., Andini, F. F., & Nurfalah, F. (2025). Digital-Based Learning Material Innovation Workshop Using GA-LARIS (Google Sites, Articulate Storyline, Augmented Reality, Physics Lab AR, Liveworksheet, and educational games) as A Learning Solution in Era 4.0. *Transformasi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 21(1), 19–33. <https://doi.org/10.20414/transformasi.v21i1.12840>
- Barta, S., Gurrea, R., & Flavián, C. (2023). Using Augmented Reality To Reduce Cognitive Dissonance and Increase Purchase Intention. *Computers in Human*

- Behavior*, 140, 13. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107564>
- Baxtiyorovna, S. M., Muxlisa, U., Qizi, H., Risolat, A., & Qizi, A. (2025). Critical Thinking in Everyday Problem Solving. *Analysis of World Scientific Views International Scientific Journal*, 3. <https://innopub.uz/index.php/awsit/index>
- Benedicto, P. N., & Andrade, R. (2022). Problem-Based Learning Strategies and Critical Thinking Skills Among Pre-Service Teachers. *International Journal of Science, Technology, Engineering and Mathematics*, 2(2), 1–28. <https://doi.org/10.53378/352885>
- Branch, R. M. (2010). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. Springer.
- Buchner, J., & Zumbach, J. (2018). Promoting Intrinsic Motivation with a Mobile Augmented Reality Learning Environment. *International Association for Development of the Information Society*.
- Cahyadi, R. A. H. (2019). Pengembangan Bahan Ajar Berbasis Addie Model. *Halaqa: Islamic Education Journal*, 3(1), 35–42. <https://doi.org/10.21070/halaqa.v3i1.2124>
- Callohuari, Y. T., Seiter, N. J., Gibson, J. C., Becker, T. M., & Kaufmann, S. (2025). The use of 3D models in teaching insect morphology and identification: A case study. *Journal of Integrated Pest Management*, 16(1). <https://doi.org/10.1093/jipm/pmaf031>
- Cavagnetto, A. R. (2010). Argument to Foster Scientific Literacy: A Review of Argument Interventions in K-12 Science Contexts. In *Review of Educational Research* (Vol. 80, Issue 3). <https://doi.org/10.3102/0034654310376953>
- Chiappetta, E. L., Fillman, D. A., & Sethna, G. H. (1991). A method to quantify major themes of scientific literacy in science textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 713–725.
- Christin, S. H., Wahyuni, E. S., & Titin, T. (2025). Development of e-worksheet discovery learning teaching materials assisted by liveworksheet on virus material. *Research and Development in Education (RaDEn)*, 5(1), 730–740. <https://doi.org/10.22219/raden.v5i1.39050>
- Cosme, L., Turchen, L. M., & Guedes, R. N. C. (2020). Insect World: Game-Based Learning as a Strategy for Teaching Entomology. *American Biology Teacher*, 82(4), 210–215. <https://doi.org/10.1525/abt.2020.82.4.210>
- Danuri, & Maisaroh, S. (2019). Metodologi Penelitian. In *Yogyakarta*. Darma, I. K., Karma, I. G. M., & Santiana, I. M. A. (2021). Validity and Practicality Test of Applied Mathematics Digital Teaching Materials for Blended Learning for Polytechnic Students. *SOSHUM : Jurnal Sosial Dan Humaniora*, 11(1), 44–53. <https://doi.org/10.31940/soshum.v11i1.2294>
- Demircioglu, T., Karakus, M., & Ucar, S. (2023). Developing Students' Critical Thinking Skills and Argumentation Abilities Through Augmented Reality–Based Argumentation Activities in Science Classes. *Science and Education*, 32(4), 1165–1195. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00369-5>
- Deti, P. R., & Rohaeti, E. (2024). Development of Electronic Worksheet Based on

- Problem-Based Learning in a Course on Acid-Bases to Develop Students' Problem-Solving Ability. *KnE Social Sciences*, 2024, 166–176. <https://doi.org/10.18502/kss.v9i8.15504>
- Dini, F., Medriati, R., & Hamdani, D. . (2025). The Effect of Problem Based Learning Model with Teaching at the Right Level Approach to Improve Critical Thinking Ability in Physics. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 16(1), 112–119. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v16i1.1385>
- Elvanuari, T. A., Zulfiani, Z., & Rosyidatun, E. S. (2024). Development of e-worksheet based on search, solve, create, and share (SSCS) Islamic context to improve science process skills on excretory system material. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 10(1), 195–210. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v10i1.31560>
- Erwinsyah, A., Hiola, Z., Mohamad, S. N., Napu, D. D., Bakari, A., Nadjamuddin, A., & Datunsolang, R. (2025). The Impact of Project-Based Flex Blended Learning Model on Critical Thinking Skills of Students in Science Courses. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(6), 783–792. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i6.11250>
- Evagorou, M., Erduran, S., & Mäntylä, T. (2015). The role of visual representations in scientific practices: from conceptual understanding and knowledge generation to ‘seeing’ how science works. *International Journal of STEM Education*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0024-x>
- Facione, P. A., & Facione, N. C. (2013). *Critical thinking for life: Valuing, measuring, and training critical thinking in all its forms*.
- Fatimah, L. U., & Alfath, K. (2019). Analisis Kesukaran Soal, Daya Pembeda Dan Fungsi Distraktor. *Jurnal Komunikasi Dan Pendidikan Islam*, 8(2), 37–64.
- Fenwick, T., & Tennant, M. (2020). Dimensions of Adult Learning. In G. Foley (Ed.), *Dimensions of Adult Learning: Adult education and training in a global era* (2nd ed.). OPEN UNIVERSITY PRESS. <https://doi.org/10.4324/9781003115366-3>
- Ferdian, N. C., Anwar, L., & Herdini, H. (2025). Validity and Practicality Test of e-Student Worksheets Using the ARCS (Attention, Relevance, Confidence, and Satisfaction) Model on Acid-Base Concepts. *International Journal of STEM Education for Sustainability*, 5(1), 132–149.
- Fitria, A. S., & Putri, S. F. (2024). *Pengembangan Media Pembelajaran Administrasi Perpajakan Berbasis Android Smart App Creator3 dan Assemblr Edu*. 16–24.
- Fitriandini, M. S., & Isnawati, I. (2025). Development of Electronic Student Worksheet (E-Worksheet) Based on Project Based Learning (PJBL) to Train Student's Critical Thinking Skills on Biotechnology Topic of 10th Grade in Senior High School. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 14(1), 211–218. <https://doi.org/10.26740/bioedu.v14n1.p211-218>
- Goldner, J., Kelley, T. R., & Holland, J. D. (2021). Insects as tools for STEM

- integration. *American Entomologist*, 67(2), 52–59.
<https://doi.org/10.1093/ae/tmab026>
- Goyibova, N., Muslimov, N., Sabirova, G., Kadirova, N., & Samatova, B. (2025). Differentiation approach in education: Tailoring instruction for diverse learner needs. *MethodsX*, 14(January), 103163.
<https://doi.org/10.1016/j.mex.2025.103163>
- Haerullah, A. H., & Hasan, S. (2017). *Model & Pendekatan Pembelajaran Inovatif (Teori dan Aplikasi)*.
- Hari, I., Soni, R., Shinde, S. E., & Chandanshive, S. S. (2025). *Foundations of Zoology and Entomology: Taxonomy, Physiology, and Ecology*. Academic Guru Publishing House.
- Harshberger, S. A. (2024). *An Action Research Investigation: Enhancing Dual Credit Biology Students' Scientific Literacy Skills Through Metacognitive Reading Interventions* (Issue June).
- Hayati, R., Ersani, E., Darwiyanti, A., Akbar, S., Hadikusumo, R. A., Hamda, E. F., Simanungkalit, L. N., Missouri, R., Winarsih, S., Priyanti, N. Y., Syarifah, T., Suyitno, M., Wardoyo, T. H., Hatiningsih, N., Ariantara, R. G., Nurdini, Isminarti, Talindong, A., & Azizah, H. N. (2025). Pengembangan Bahan Ajar. In *Universitas Atma Jaya Yogyakarta* (Vol. 09, Issue September). Sada Kurnia Pustaka.
- Herawati, N. S., & Muhtadi, A. (2018). Development of interactive electronic modules (e-modules) in chemistry subjects for class XI high school. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, 5(2), 180–191.
<https://doi.org/10.21831/jitp.v5i2.15424>
- Herliandry, L. D., Kuswanto, H., & Hidayatulloh, W. (2021). *Improve Critical Thinking Ability Through Augmented Reality Assisted Worksheets*.
- Hizqiyah, I. Y. N., Widodo, A., Sriyat, S., & Setiawan, W. (2019). The Profile of Biology Teacher's Habits of Mind in High. *AIP Conf. Proc.*, 060010(July), 060001–060006.
- Hu, G. L., Tian, J. D., Xue, S., & Lu, J. Q. (2021). Morphology of egg and larva of the lawn cutworm *Spodoptera depravata* (Butler) (Lepidoptera: Noctuidae). *Zoologischer Anzeiger*, 292, 261–269.
<https://doi.org/10.1016/j.jcz.2021.05.002>
- Ilyas, I. (2022). Strategi Peningkatan Kompetensi Profesional Guru. *Jurnal Inovasi, Evaluasi Dan Pengembangan Pembelajaran (JIEPP)*, 2(1), 34–40.
<https://doi.org/10.54371/jiepp.v2i1.158>
- Inayah, I., Gofur, A., & Balqis. (2024). Development of E-Module for Plant Physiology Courses Based on Problem Based Learning to Increase Student's Critical Thinking Skills on Nutrition, Transportation and Photosynthesis. *Bioedukasi*, 22(2), 318–326. <https://doi.org/10.19184/bioedu.v22i2.46624>
- Istiqomah, K., & Sipahutar, H. (2025). Effect of PBL model with student worksheets on biology learning: activities, thinking skills, and outcomes.

- Biosfer : Jurnal Pendidikan Biologi*, 18(2), 261–275.
<https://doi.org/10.21009/biosferjpb.55299>
- Jambagi, S. R., Gaddanakeri, S. T. D. K. N., & D., C. (2023). Insecticide Resistance Management Strategies for Sustainable Insect Control Entomolgy Redefines Current Trends and Future Directions. In *Entomolgy Redefines Current Trends and Future Directions* (Vol. 1, pp. 359–381).
- Kalyuga, S., & Singh, A. M. (2016). Rethinking the Boundaries of Cognitive Load Theory in Complex Learning. *Educational Psychology Review*, 28(4), 831–852. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9352-0>
- Karmila, N., Wilujeng, I., & Sulaiman, H. (2021). *The Effectiveness of ProblemBased Learning (PBL) Assisted Google Classroom to Scientific Literacy in Physics Learning*.
- Kiperwasser, E., & Ballesteros, M. (2018). Scheduled Multi-Task Learning: From Syntax to Translation. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 6, 225–240. https://doi.org/10.1162/tacl_a_00017
- Kranz, J., Baur, A., Möller, A., Kranz, J., & Baur, A. (2023). Learners' challenges in understanding and performing experiments : a systematic review of the literature experiments : a systematic review of the literature. *Studies in Science Education*, 59(2), 321–368. <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2138151>
- Lubis, S. P. W., Suryadarma, I. G. P., Paidi, & Yanto, B. E. (2022). The Effectiveness of Problem-based learning with Local Wisdom oriented to Socio-Scientific Issues. *International Journal of Instruction*, 15(2), 455–472. <https://doi.org/10.29333/iji.2022.15225a>
- Maharani, P., & Hamid, M. A. (2024). Development of E-Student Worksheet Based Task-Based Learning Through LiveWorksheets.com for High School Students. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 16(2), 1205–1217. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v16i2.5183>
- Manideep, S., Sankaran, S., & Tulasi, B. (2024). Invasive Thrips, Thrips Parvispinus (Karny, 1992), and Its Threat To Agriculture: a Comprehensive Review. *Plant Archives*, 25(1). <https://doi.org/10.51470/plantarchives.2025.v25.supplement-1.152>
- Maron, C., Fresse, V., Morand, K., & Konik, H. (2023). BlendGen: A Blender Add-on for General RGB-D Databases Generation. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*, 15(2023), 332–340.
- Marthaliakirana, A. D., Suwono, H., Saefi, M., & Gofur, A. (2022). Problem-based learning with metacognitive prompts for enhancing argumentation and critical thinking of secondary school students. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(9). <https://doi.org/10.29333/ejmste/12304>
- Martono, D., & Aloysus, S. (2025). Development of E-LKPD Guided Inquiry Web

- Augmented Reality Biodiversity Material Based on Nepenthes Variation to Improve Critical Thinking Abilities and Psychomotor Skills of E-phase students. *Journal of World Science*, 4(8), 1095–1109. <https://doi.org/10.58344/jws.v4i8.1486>
- Masnack, A. M., & Morris, B. J. (2022). A Model of Scientific Data Reasoning. *Education Sciences*, 12(2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/educsci12020071>
- Mayasari, I., M Setyarini, & Chansyanah Diawati. (2022). Development of Interactive e-Worksheet to Improve Science Process Skills of Junior High School Students. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 24(1), 321–329. <https://doi.org/10.23960/jpmipa/v24i1.pp321-329>
- Mayer, R. E. (2014). Incorporating motivation into multimedia learning. *Learning and Instruction*, 29, 171–173. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.04.003>
- Montafej, J., Lotfi, A. R., & Chalak, A. (2022). The Effectiveness of Hybrid and Pure Problem-Based Learning in the Productive Skills and Critical Thinking of Iranian Undergraduate Students through MALL Application. *Education Research International*, 2022, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2022/1531210>
- Mufidah, R., & Dwiningsih, K. (2024). *Development of A Problem-Based Learning- Oriented Interactive E-Worksheet on Chemical Equilibrium to Enhance Students ' Scientific Literacy Skills*. 9(2), 370–385.
- Muhimmatin, I., & Prasetyo, T. H. (2024). Profil Literasi Sains Awal Mahasiswa Calon Guru Biologi di Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi. *BIODIK*, 10(2), 54–63. <https://doi.org/10.22437/biodik.v10i2.30197>
- Nayeri, N. D., Noodeh, F. A., Nia, H. S., Yaghoobzadeh, A., Allen, K. A., & Goudarzian, A. H. (2023). Statistical Procedures Used in Pretest-Posttest Control Group Design: A Review of Papers in Five Iranian Journals. *Acta Medica Iranica*, 61(10), 584–591. <https://doi.org/10.18502/acta.v61i10.15657>
- Novitasari, N. (2018). Profil Kemampuan Literasi Sains Mahasiswa Calon Guru Biologi. *Biosfer : Jurnal Tadris Biologi*, 9(1), 36. <https://doi.org/10.24042/biosf.v9i1.2877>
- Nur, S. (2023). Keterampilan Berpikir Kritis dan Hasil Belajar Kognitif Mahasiswa Pendidikan Biologi. *SAINTIFIK*, 9(1). <https://doi.org/10.31605/saintifik.v9i1.408>
- Nurhasanah, I. A., Brilliant, M., Reni, K., & Mulyanto, A. (2022). Analisis Perancangan E-Business B2C (Business to Consumer) Upaya Digitalisasi Pengembangan UMKM (Studi Kasus : Kabupaten Pesawaran, Indonesia). *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika (JANAPATI)*, 11(3), 236–248. <https://doi.org/10.23887/janapati.v11i3.49787>
- OECD. (2019). PISA 2018 Assessment and Analytical Framework. In *OECD Publishing*.
- Paneo, F. R., Manurung, T. K., & Lapihu, D. (2024). Development of Android Application for Insect Animal Recognition Based on Augmented Reality as

- Interactive Learning Media. *MATICS: Jurnal Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi (Journal of Computer Science and Information Technology)*, 16(2), 52–61. <https://doi.org/10.18860/mat.v16i2.27035>
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1969). *The Psychology of The Child*. In *Educacao e Sociedade*. Basic Books.
- Pitasari, M., & Dwi Febriyanti, B. (2023). Analisis Kelengkapan dalam Merumuskan Tujuan Pembelajaran pada Mahasiswa PGMI Semester V. *Qalam : Jurnal Ilmu Kependidikan*, 12(1), 35–42. <https://doi.org/10.33506/jq.v12i1.2554>
- Pitorini, D. E., Suciati, & Harlita. (2025). Using an E-Module Based on Problem-Based Learning Combined With Socratic Dialogue To Develop Students' Critical Thinking Skills: a Qualitative Study. *Journal of Educators Online*, 22(1). <https://doi.org/10.9743/JEO.2025.22.1.18>
- Prabowo, C. A., & Fidiastuti, H. R. (2017). Mengukur Keterampilan Literasi Ilmiah Mahasiswa Tahun Pertama Menggunakan Test of Scientific Literacy Skills (TOSLS). *Bioeducation Journal*, 1(2), 78–86.
- Pratita, D., Barlian, I., & Rusmin, R. (2018). Development of Student Worksheet on Materials Economy Based Problem Solving. *Humaniora*, 9(2), 211. <https://doi.org/10.21512/humaniora.v9i2.4562>
- Priska Vasantan. (2023). Penciptaan Pengetahuan Sebagai Sarana Pembentukan Pilar Pembelajaran Individu. *AKSARA: Jurnal Ilmu Pendidikan Nonformal*, 09(2), 1093–1108. <https://doi.org/10.37905/aksara.9.2.1093-1108.2023>
- Putri, D. K., Hidayah, R., & Yuwono, Y. D. (2023). Problem Based Learning: Improve Critical Thinking Skills for Long Life Learning. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(7), 5049–5054. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i7.4188>
- Rahman, D. A., Ningrum, F. S., Nurfadilah, N. A., & Hurni, R. W. (2024). Kemampuan Literasi Digital pada Jenjang SMA/SMK dalam Mengurangi Penyebaran Hoax. *Harmoni: Jurnal Ilmu Komunikasi Dan Sosial*, 2(2), 99–108. <https://doi.org/10.59581/harmoni-widyakarya.v2i2.3086>
- Rahmayani, R. D., & Atmazaki, A. (2025). Development of Interactive E-LKPD Based on Live-Worksheets for Reading and Viewing Skills. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 17(1), 73–89.
- Rezigalla, A. A., Eleragi, A. M. E. S. A., Elhusein, A. B., Alfaiji, J., ALGhamdi, M. A., Al Ameer, A. Y., Yahia, A. I. O., Mohammed, O. A., & Adam, M. I. E. (2024). Item analysis: the impact of distractor efficiency on the difficulty index and discrimination power of multiple-choice items. *BMC Medical Education*, 24(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05433-y>
- Richardo, R., & Cahdriyana, R. A. (2021). Strategi meminimalkan beban kognitif eksternal dalam pembelajaran matematika berdasarkan load cognitive theory. *Humanika*, 21(1), 17–32. <https://doi.org/10.21831/hum.v21i1.38228>
- Rizkika, N., Mulyawati, Y., & Wijaya, A. (2024). Pengembangan Bahan Ajar Tahapan pengembangan bahan ajar. In *Universitas Atma Jaya Yogyakarta*

(Vol. 09, Issue September).

- Saiin, M., Rehiara, R. E., Rozi, F., Hamdiana, Rifai, M., & Kesek, M. N. (2024). Pengembangan Ketrampilan Abad 21 Dalam Menghadapi Kurikulum Merdeka Di Perguruan Tinggi. *Jurnal Edu Research*, 5(2), 212–221.
- Salirawati, D. (2016). Teknik Penyusunan Modul Pembelajaran. *Academia*, 1–14.
- Sánchez Albert, A., González Cristóbal, M., Pertierra, L. R., González-López, C., París, M., Palancar, C. A., Sánchez Ruiz, M., Bastir, M., & Wilson, R. J. (2025). Insect insights: case studies using 3D-printed specimen models as a tool for accessibility, education and outreach in a Natural History Museum. *Natural History Collections and Museomics*, 2, 1–20. <https://doi.org/10.3897/nhcm.2.154351>
- Sanjiartha, I. G. D., Suwindia, I. G., & Winangun, I. M. A. (2024). Peran literasi sains dalam membentuk generasi berfikir kritis dan inovatif: kajian literature review. *Journal IICET : Education and Social Sciences Review*, 5(2), 120–128. <https://doi.org/10.29210/07essr499900>
- Santos, L. F. (2017). The Role of Critical Thinking in Science Education. *Journal of Education and Practice*, 8(20), 159–173.
- Sartana, Simbolon, F. H., Wati Simbolon, R., Sihombing, M., & Hotnauli Simbolon, M. (2025). Efektivitas Pelaksanaan Sistem Penjaminan Mutu Internal Pada Perguruan Tinggi Swasta (Studi Kasus Universitas Mandiri Bina Prestasi). *Universitas Mandiri Bina Prestasi Jl. Letjend. Djamin Ginting*, 4(2), 285–287. <https://doi.org/10.58918/lofian.v4i2.286>
- Savika, H. I., & Zuhriyah, I. A. (2024). Peran Analisis Butir Soal terhadap Kualitas Soal, Kompetensi Guru, dan Prestasi Belajar Peserta Didik di Sekolah Dasar. *PANDU: Jurnal Pendidikan Anak Dan Pendidikan Umum*, 2(2), 43–51. <https://doi.org/10.59966/pandu.v2i2.856>
- Schober, P., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesthesia and Analgesia*, 126(5), 1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Sengul, O. (2019). Linking scientific literacy, scientific argumentation, and democratic citizenship. *Universal Journal of Educational Research*, 7(4), 1090–1098. <https://doi.org/10.13189/ujer.2019.070421>
- Setiawan, A. E., Aras, I., Andika, T. H., & Hendrawan Putri, A. I. (2023). Human Anatomi Recognition Using Augmented Reality With Marker Based Method Tracking. *Jurnal Sisfokom (Sistem Informasi Dan Komputer)*, 12(1), 83–89. <https://doi.org/10.32736/sisfokom.v12i1.1638>
- Shardlow, M., Batista-Navarro, R., Thompson, P., Nawaz, R., McNaught, J., & Ananiadou, S. (2018). Identification of research hypotheses and new knowledge from scientific literature. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 18(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12911-018-0639-1>
- Sharon, A. J., & Baram-Tsabari, A. (2020). Can science literacy help individuals identify misinformation in everyday life? *Science Education*, 104(5), 873–

894. <https://doi.org/10.1002/sce.21581>
- Shofiana, F. (2022). *Analisis Tingkat Kompetensi Literasi Sains Mahasiswa Tadris Biologi* (Vol. 3, Issue 1).
- Smith, K. N., Lamb, K. N., & Henson, R. K. (2020). Making Meaning out of MANOVA: The Need for Multivariate Post Hoc Testing in Gifted Education Research. *Gifted Child Quarterly*, 64(1), 41–55. <https://doi.org/10.1177/0016986219890352>
- Sofianti, E. D., Hayati, M. N., & Widiyanto, B. (2024). Korelasi Kemampuan Berpikir Kritis dengan Etika Lingkungan Hidup Peserta Didik pada Topik Pencemaran Lingkungan. *PSEJ (Pancasakti Science Education Journal)*, 9(2), 133–141. <https://doi.org/10.24905/psej.v9i2.225>
- Sorte, P. B., & Kim, N. J. (2023). Integrating augmented reality and problem-based learning into English language teaching through instructional design. In *Revista Tempos e Espaços em Educação* (Vol. 16, Issue 35). <https://doi.org/10.20952/revtee.v16i35.19073>
- Sugiyono. (2020). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan R&D*. Alfabeta.
- Sukowati, S., Miruki, W., Ayu, N., Pertiwi, S., & Putra, I. A. (2025). *Problem-Based Learning Guidelines for Optimizing Science Process Skills*. 5(2), 3–6.
- Sumarhadi, A., & Supahar, S. (2025). Development of a Science E-Module Based on Problem Based Learning Using Moodle to Improve Students' Science Literacy and Critical Thinking Abilities. *Journal of World Science*, 4(8), 1075–1086. <https://doi.org/10.58344/jws.v4i8.1481>
- Supahar, & Widodo, E. (2021). The Effect of Virtual Laboratory Application of Problem-Based Learning Model to Improve Science Literacy and Problem-Solving Skills. *Proceedings of the 7th International Conference on Research, Implementation, and Education of Mathematics and Sciences (ICRIEMS 2020)*, 528(Icriems 2020), 633–640. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210305.092>
- Supardi. (2020). *Landasan Pengembangan Bahan Ajar*.
- Sutrisno, & Wulandari, D. (2018). Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) untuk Memperkaya Hasil Penelitian Pendidikan. *Aksioma*, 9(1), 37–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.26877/aks.v9i1.2472>
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning - Sweller - 2010 - Cognitive Science - Wiley Online Library. *Cognitive Science*, 12, 257–285. [https://doi.org/10.1016/0364-0213\(88\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90023-7)
- Syawaludin, A., Gunarhadi, & Rintayati, P. (2019). Development of augmented reality-based interactive multimedia to improve critical thinking skills in science learning. *International Journal of Instruction*, 12(4), 331–344. <https://doi.org/10.29333/iji.2019.12421a>
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2013). Using Multivariate Statistics. In *Pearson* (6th ed.). Pearson. <https://doi.org/10.1037/022267>

- Taber, K. S. (2018). The Use of Cronbach's Alpha When Developing and Reporting Research Instruments in Science Education. *Research in Science Education*, 48(6), 1273–1296. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2>
- Taqwa, M. R. A., Hariyono, S. A., & Sulur. (2023). Pengembangan Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) dengan Pendekatan Multi-Representasi untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Mahasiswa Calon Guru Fisika dalam Operasi Vektor. *Edu Research*, 4(3), 11–30. <https://doi.org/10.47827/jer.v4i3.98>
- Tawfik, A., & Gatewood, J. (2022). Decision Making and Problem-Solving: Implications for Learning Design. *The Journal of Applied Instructional Design*, 7–22. <https://doi.org/10.59668/377.8032>
- Thorndahl, K. L., & Stentoft, D. (2020). Thinking critically about critical thinking and problem-based learning in higher education: A scoping review. In *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning* (Vol. 14, Issue 1, pp.1–21). <https://doi.org/10.14434/ijpbl.v14i1.28773>
- Toharudin, U., Damaianti, F., Yuyu, I., Hizqiyah, N., Setia, I., Education, B., & Pasundan, U. (2023). Developing Students' Scientific Literacy through Wikipedia Digital Library. *Emerging Technologies in Learning*, 18(24), 211–219. <https://doi.org/9>. <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i24.45605>
- Turkan, Y., Radkowski, R., Karabulut-Ilgu, A., Behzadan, A. H., & Chen, A. (2017). Mobile augmented reality for teaching structural analysis. *Advanced Engineering Informatics*, 34(September), 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2017.09.005>
- Veenman, M. V. J. (2016). Learning to self-monitor and self-regulate. In *Handbook of research on learning and instruction* (pp. 249–273). Routledge.
- Wahyu, Y., Supardi, K., Mulu, M., & Narut, Y. F. (2021). The Effect of Problem-Based Approach Assisted with Mobile Augmented Reality toward Students' Science Process Skills And Achievement. *Prisma Sains : Jurnal Pengkajian Ilmu Dan Pembelajaran Matematika Dan IPA IKIP Mataram*, 9(2), 420. <https://doi.org/10.33394/j-ps.v9i2.4342>
- Wahyuningtyas, I. N., & Agustini, R. (2024). Development of e-Worksheet Guided Inquiry-Oriented to Train Students' Critical Thinking Skills on Buffer Solution Material. *Jurnal Pijar Mipa*, 19(4), 623–629. <https://doi.org/10.29303/jpm.v19i4.7068>
- Wang, K. D., Burkholder, E., Wieman, C., Salehi, S., & Haber, N. (2023). Examining the potential and pitfalls of ChatGPT in science and engineering problem-solving. *Frontiers in Education*, 8(1981). <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1330486>
- Wardah, S. N., & Dewi, R. F. (2024). Pengembangan E Worksheet Pembelajaran Biologi Menggunakan Soal Hots Berbasis Edmodo Pada Materi Ekosistem Untuk Siswa Kelas X Mipa Di Man 1 Jember. *ALVEOLI: Jurnal Pendidikan Biologi*, 5(1), 49–63. <https://doi.org/10.35719/alveoli.v5i1.69>

- Wardani, E. F., & Romadon, R. (2023). E-LKM Berbasis PBL (Problem Based Learning) dengan Muatan Potensi Lokal Flora Bangka Belitung Materi Bagian Tumbuhan dan Fungsinya. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 6(1), 208–220. <https://doi.org/10.31539/bioedusains.v6i1.4719>
- Yoon, S., Anderson, E., Lin, J., & Elinich, K. (2017). How augmented reality enables conceptual understanding of challenging science content. *Educational Technology and Society*, 20(1), 156–168.
- Yunitasari, L., & Pratama, A. T. (2024). *Development of Integrated Problem-Based Electronic Student Worksheets Local Potential of TPST Piyungan on Environmental Change Material*. 10(3), 1140–1149. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i3.6880>
- Yusuf, F. A. (2025). Investigating the impact of augmented reality-integrated project-based learning on university students' creative innovation, computational thinking, and academic resilience. *Journal of Pedagogical Research*, 9(4), 241–258. <https://doi.org/10.33902/JPR.202537068>
- Zaswita, H., & Kabatiah, M. (2024). E-Worksheets with Augmented Reality Technology in Laboratory Learning: Examining Their Effectiveness on Students' Learning Performance. *International Journal of Information and Education Technology*, 14(11).
- Zhang, J., & Pearlman, A. M. G. (2018). Expanding Access to International Education through Technology Enhanced Collaborative Online International Learning (COIL) Courses. *International Journal of Technology in Teaching and Learning*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.37120/ijttl.2018.14.1.01>
- Zhang, J., & Weldon, J. K. (2025). A pilot study on institutional conditions for interdisciplinary research at SLU. In *Swedish University of Agricultural Sciences, SLU Future Food*. <https://doi.org/10.54612/a.3v4asm31s2>
- Zhu, T., Zhang, J.-T., & Cheng, M.-Y. (2022). One-way MANOVA for functional data via Lawley-Hotelling trace test. *Journal of Multivariate Analysis*, 51(1), 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2022.105095>.