



JURNAL BASICEDU

Volume 10 Nomor 1 Tahun 2026 Halaman 702 - 713

Research & Learning in Elementary Education

<https://jbasic.org/index.php/basicedu>



Modul IPA Eksperimen Berbasis Pendekatan Deep Learning untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Mahasiswa PGSD

Muhamad Alfarisi^{1✉}, Andi Widiono²

Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Universitas Muhammadiyah Metro, Indonesia^{1,2}

E-mail: alfarizi.ahha@gmail.com¹, andiwidiono@gmail.com²

Abstrak

Calon guru SD dituntut menguasai keterampilan proses sains (KPS), namun bahan ajar yang tersedia masih menerapkan surface learning atau pendekatan yang hanya menekankan hafalan prosedur tanpa pemahaman konseptual mendalam (Biggs & Tang, 2011; Hattie & Donoghue, 2016). Penelitian ini bertujuan mengembangkan modul IPA Eksperimen SD berbasis pendekatan Deep Learning yang mencakup elaborasi, organisasi, dan metakognisi guna meningkatkan KPS mahasiswa PGSD. Pengembangan menggunakan model ADDIE dengan subjek 30 mahasiswa PGSD semester V Universitas Muhammadiyah Metro. Hasil validasi menunjukkan modul sangat valid (skor ahli materi 4,52; ahli media 4,48), sangat praktis berdasarkan respon mahasiswa (89,6%), dan efektif meningkatkan KPS secara keseluruhan dengan N-Gain 0,74 (kategori tinggi), meliputi aspek mengamati (0,81), mengelompokkan (0,78), menafsirkan (0,75), meramalkan (0,73), berkomunikasi (0,70), dan menyimpulkan (0,68). Modul ini dapat menjadi alternatif bahan ajar IPA eksperimen yang mendorong pemahaman konseptual mahasiswa PGSD.

Kata Kunci: modul IPA, eksperimen, Deep Learning, keterampilan proses sains, mahasiswa PGSD

Abstract

Prospective elementary teachers are required to master science process skills (SPS); however, existing teaching materials predominantly adopt a surface learning approach one that emphasizes procedural memorization over deep conceptual understanding (Biggs & Tang, 2011; Hattie & Donoghue, 2016). This study aims to develop an elementary science experiment module based on a Deep Learning approach encompassing elaboration, organization, and metacognition to enhance the SPS of pre-service elementary teacher education (PGSD) students. The module was developed using the ADDIE model with 30 fifth-semester PGSD students at Universitas Muhammadiyah Metro as subjects. Validation results indicated that the module was highly valid (material expert score: 4.52; media expert score: 4.48), highly practical based on student responses (89.6%), and effective in improving overall SPS with an N-Gain of 0.74 (high category), encompassing the aspects of observing (0.81), classifying (0.78), interpreting (0.75), predicting (0.73), communicating (0.70), and concluding (0.68). This module offers a viable instructional alternative that promotes deep conceptual understanding in elementary science experiment learning.

Keywords: Science Module, Experiment, Deep Learning, Science Process Skills, Pre-Service Elementary Teacher Education.

Copyright (c) 2026 Muhamad Alfarisi, Andi Widiono

✉ Corresponding author :

Email : alfarizi.ahha@gmail.com

DOI : <https://doi.org/10.31004/basicedu.v10i2.11617>

ISSN 2580-3735 (Media Cetak)

ISSN 2580-1147 (Media Online)

PENDAHULUAN

Pembelajaran IPA di sekolah dasar memiliki peran strategis dalam membangun literasi sains dan mengembangkan keterampilan proses sains (KPS) siswa sejak dini (Septiani & Siti, 2024; Andriani et al., 2025). Mahasiswa Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar (PGSD) sebagai calon guru SD dituntut tidak hanya menguasai konsep IPA, tetapi juga memiliki kompetensi dalam melaksanakan pembelajaran berbasis eksperimen dan menguasai KPS yang nantinya akan ditransfer kepada siswa-siswanya (Parisu et al., 2025). KPS mencakup kemampuan mengamati, mengelompokkan, menafsirkan, meramalkan, berkomunikasi, dan menyimpulkan yang merupakan fondasi penting dalam pembelajaran IPA berbasis inkuiri (Parisu et al., 2025; Santiawati et al., 2022).

Berdasarkan studi pendahuluan yang dilakukan melalui observasi dan wawancara dengan dosen pengampu mata kuliah IPA Eksperimen SD di Universitas Muhammadiyah Metro, ditemukan bahwa rata-rata nilai keterampilan proses sains (KPS) mahasiswa PGSD hanya mencapai 58,4 dari skala 100, yang tergolong dalam kategori kurang. Lebih lanjut, 73% mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami prosedur eksperimen dan mengaitkan hasil eksperimen dengan konsep teoritis yang mendasarinya. Permasalahan ini disebabkan oleh tiga faktor utama. Pertama, bahan ajar yang digunakan masih terbatas pada buku teks konvensional yang kurang memberikan panduan eksperimen yang terstruktur dan sistematis (Darmuki et al., 2023; Pinasthika & Kaltsum, 2022). Kedua, pendekatan pembelajaran yang diterapkan cenderung bersifat *surface learning* yakni pendekatan yang hanya menekankan hafalan prosedur tanpa pemahaman konseptual yang mendalam Biggs & Tang (2011) sehingga mahasiswa tidak terlatih membangun koneksi antar konsep IPA secara bermakna (Ristiani, R., Ali, A., & Apriyanto, 2025). Ketiga, minimnya *scaffolding* dan pertanyaan reflektif dalam bahan ajar yang tersedia menghambat mahasiswa mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi dalam proses eksperimen.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan serupa. Saregar et al., (2016) mengembangkan model pembelajaran CUPs (*Conceptual Understanding Procedures*) yang terbukti efektif meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi peserta didik dengan effect size 0,89. Yuliati (2016) menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis masalah (PBL) dapat meningkatkan KPS siswa SD dengan N-Gain 0,68. Penelitian yang lebih terkini, Darmuki et al, (2023) mengembangkan modul IPA kontekstual untuk mahasiswa PGSD yang terbukti meningkatkan motivasi belajar, sementara sistematis Pinasthika & Kaltsum (2022) mengembangkan bahan ajar IPA berbasis inkuiri yang berfokus pada aspek literasi sains. Di sisi teori, Hattie & Donoghue (2016) menegaskan bahwa strategi Deep Learning yang meliputi elaborasi, organisasi, dan metakognisi memiliki dampak signifikan terhadap retensi dan transfer pengetahuan dengan korelasi 0,75, serta menekankan pentingnya pertanyaan reflektif dan peta konsep sebagai instrumen pembelajaran mendalam.

Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut menyisakan kesenjangan yang signifikan. Model CUPs dan PBL terbukti meningkatkan berpikir tingkat tinggi dan KPS, serta beberapa modul IPA kontekstual dan berbasis inkuiri telah dikembangkan untuk PGSD, namun saat ini belum terdapat modul IPA eksperimen khusus PGSD yang secara sistematis mengoperasionalkan prinsip Deep Learning yakni peta konsep hierarkis, pertanyaan reflektif berjenjang, dan *scaffolding* bertingkat secara terintegrasi dalam satu desain modul untuk mengembangkan seluruh enam aspek KPS secara bersamaan. Modul-modul yang ada umumnya hanya menargetkan satu-dua aspek KPS, atau menerapkan salah satu strategi pembelajaran mendalam tanpa mengintegrasikan ketiganya secara kohesif dalam kerangka pengembangan yang tervalidasi.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengembangkan modul IPA Eksperimen SD berbasis pendekatan Deep Learning menggunakan model ADDIE yang secara komprehensif mengintegrasikan: (1) peta konsep hierarkis untuk membangun keterkaitan antar konsep secara eksplisit; (2) pertanyaan reflektif berjenjang untuk mendorong elaborasi konseptual dan metakognisi; dan (3) *scaffolding* bertingkat yang

mengikuti prinsip ZPD Vygotsky untuk memfasilitasi progres pemahaman secara gradual. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang mengembangkan modul IPA kontekstual atau berbasis inkuiri secara parsial, modul ini dirancang untuk mengembangkan keenam aspek KPS secara simultan melalui enam topik eksperimen IPA SD dengan validasi komprehensif dari ahli materi dan media. Penelitian ini bertujuan menghasilkan modul yang valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan KPS mahasiswa PGSD sebagai bekal kompetensi mengajar IPA di sekolah dasar.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) yang dipilih karena strukturnya yang sistematis dan fleksibel untuk pengembangan produk pembelajaran berbasis kompetensi (Hidayat, 2021). Penelitian dilaksanakan di Program Studi PGSD, Universitas Muhammadiyah Metro, selama enam bulan (Agustus 2024–Januari 2025).

Subjek penelitian terdiri dari dua kelompok: (1) enam validator ahli tiga ahli materi (dosen IPA, kualifikasi S3, pengalaman mengajar ≥ 5 tahun) dan tiga ahli media (pakar teknologi pendidikan); serta (2) mahasiswa PGSD semester V tahun akademik 2024/2025 yang dipilih melalui purposive sampling dengan kriteria aktif, telah menempuh mata kuliah prasyarat, dan hadir minimal 80%. Berdasarkan kriteria tersebut, terpilih 10 mahasiswa untuk uji coba terbatas dan 30 mahasiswa untuk uji coba lapangan.

Pengembangan modul mengikuti lima tahap ADDIE. Tahap Analysis mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran melalui observasi, wawancara, dan analisis kurikulum. Tahap Design menghasilkan blueprint modul yang memuat peta konsep hierarkis, pertanyaan reflektif berjenjang, dan scaffolding bertingkat, serta penyusunan seluruh instrumen penelitian. Tahap Development mencakup pembuatan modul dan validasi ahli dengan revisi hingga modul dinyatakan layak uji coba. Tahap Implementation dilaksanakan dalam dua fase: uji coba terbatas (10 mahasiswa) untuk mengidentifikasi kendala teknis, dilanjutkan uji coba lapangan (30 mahasiswa) dengan desain one-group pretest-posttest selama 8 pertemuan (16 jam) untuk enam topik eksperimen IPA SD. Tahap Evaluation dilakukan secara formatif di setiap tahap dan sumatif di akhir implementasi.

Data dikumpulkan menggunakan tiga instrumen. Pertama, lembar validasi ahli (skala Likert 1–5) yang mengukur kelayakan isi, keakuratan materi, tampilan, dan penerapan prinsip Deep Learning, dengan kriteria sangat valid pada rentang skor 4,21–5,00. Kedua, angket respons mahasiswa (skala Likert 1–5) yang mengukur kemudahan, kebermanfaatan, dan ketertarikan terhadap modul, dengan kriteria sangat praktis pada rentang 81–100%. Ketiga, tes KPS berupa 30 soal uraian yang mengukur enam aspek keterampilan mengamati, mengelompokkan, menafsirkan, meramalkan, berkomunikasi, dan menyimpulkan yang divalidasi melalui expert judgment dan uji empiris kepada 35 mahasiswa PGSD semester VII, menghasilkan 30 butir valid ($r > 0,361$) dengan reliabilitas tinggi (Cronbach's $\alpha = 0,89$).

Data validitas dan kepraktisan dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Efektivitas diukur menggunakan N-Gain dengan kriteria tinggi ($> 0,70$), sedang ($0,30-0,70$), dan rendah ($< 0,30$), didukung uji normalitas Shapiro-Wilk dan uji beda paired sample t-test ($\alpha = 0,05$). Penelitian ini telah mendapatkan izin etik dari FKIP Universitas Muhammadiyah Metro (No.125/II.3.AU/F/2024); seluruh partisipan menyetujui informed consent dan identitasnya dijaga kerahasiaannya menggunakan kode (M-01 hingga M-30).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengembangan Modul IPA Eksperimen Berbasis Pendekatan *Deep Learning*

Produk yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah modul IPA eksperimen SD berbasis pendekatan *Deep Learning* yang dirancang secara sistematis untuk memfasilitasi pemahaman konseptual yang kuat dan pengembangan keterampilan proses sains mahasiswa PGSD. Modul ini terdiri dari tiga komponen utama yang terintegrasi. Komponen pertama adalah buku panduan mahasiswa yang berisi: (1) pengantar materi dengan struktur konseptual hierarkis yang menunjukkan keterkaitan antar topik IPA secara eksplisit; (2) tujuan pembelajaran yang dirumuskan dengan indikator pemahaman mendalam berdasarkan taksonomi Bloom revisi pada level C4-C6; (3) prosedur eksperimen yang tidak hanya menyajikan langkah-langkah teknis tetapi juga menekankan proses berpikir ilmiah dan reasoning di balik setiap tahapan; dan (4) lembar kerja mahasiswa yang dilengkapi dengan pertanyaan reflektif berjenjang untuk mendorong elaborasi konseptual dan metakognisi.

Komponen kedua adalah panduan dosen yang memuat: (1) strategi implementasi *Deep Learning* dengan teknik questioning yang efektif; (2) teknik scaffolding bertingkat untuk memfasilitasi progres pemahaman dari konsep sederhana menuju kompleks; (3) alternatif respon terhadap miskonsepsi umum mahasiswa; dan (4) rubrik penilaian keterampilan proses sains yang komprehensif dengan deskriptor kinerja yang jelas untuk setiap level pencapaian. Komponen ketiga adalah lembar refleksi pembelajaran yang dirancang untuk mendorong mahasiswa melakukan self-assessment, mengaitkan pengetahuan baru dengan pengalaman sebelumnya (prior knowledge activation), dan mengidentifikasi area yang memerlukan pendalaman lebih lanjut.

Modul ini mencakup enam topik eksperimen IPA SD yang dipilih berdasarkan kurikulum dan tingkat kompleksitas konseptual yang bervariasi: (1) sifat-sifat cahaya dan fenomena optik; (2) gaya dan gerak serta hukum Newton; (3) perubahan wujud benda dan kalor; (4) rangkaian listrik sederhana dan konsep arus listrik; (5) sifat-sifat bunyi dan gelombang; serta (6) ekosistem sederhana dan interaksi makhluk hidup. Setiap topik dirancang dengan pendekatan *Deep Learning* yang mencakup enam fase pembelajaran: (1) aktivasi pengetahuan awal melalui pertanyaan eksploratori dan fenomena kontekstual; (2) penyajian konsep dengan contoh konkret dan konteks kehidupan nyata untuk membangun conceptual bridge; (3) kegiatan eksperimen terbimbing yang mendorong eksplorasi aktif dan *discovery learning*; (4) pertanyaan pemandu yang merangsang berpikir kritis dan analisis kausal; (5) diskusi kelompok untuk mengaitkan konsep dengan pengetahuan lain dalam struktur kognitif; dan (6) refleksi individual untuk internalisasi pemahaman dan konstruksi makna personal.

Karakteristik *Deep Learning* dalam modul ini direalisasikan melalui beberapa aspek desain instruksional. Pertama, struktur materi yang koheren dengan peta konsep (*concept mapping*) yang menunjukkan relasi hierarkis, koordinat, dan superordinat antar konsep IPA secara menyeluruh. Peta konsep dirancang tidak hanya sebagai organizer grafis tetapi sebagai cognitive tool yang memfasilitasi meaningful learning dan integrasi skema pengetahuan. Kedua, pertanyaan reflektif berjenjang yang dirancang berdasarkan kerangka Socratic questioning untuk mendorong mahasiswa memahami makna di balik fenomena (why), bukan sekadar menghafalkan fakta atau prosedur (what dan how). Ketiga, aktivitas yang menekankan pemahaman prinsip dengan menggunakan variasi konteks aplikasi untuk mendorong transfer pembelajaran dan fleksibilitas kognitif. Keempat, *scaffolding* bertingkat yang mengikuti prinsip *Vygotskian Zone of Proximal Development* (ZPD) untuk membantu mahasiswa membangun pemahaman secara gradual dengan dukungan yang systematically faded.

Validasi modul dilakukan oleh panel ahli yang terdiri dari tiga orang ahli materi (dosen IPA dengan kualifikasi S3 Pendidikan IPA dan pengalaman mengajar minimal 5 tahun) dan tiga orang ahli media pembelajaran (pakar teknologi pendidikan dengan keahlian pengembangan media digital dan desain instruksional). Proses validasi dilakukan dalam dua putaran dengan menggunakan instrumen validasi yang

mengadaptasi kriteria penilaian bahan ajar dari BSNP (Badan Standar Nasional Pendidikan) dan disesuaikan dengan karakteristik *Deep Learning*. Hasil validasi ahli materi dan ahli media disajikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Validasi Ahli Materi

Aspek yang Dinilai	Skor Rata-rata	Kategori
Kelayakan Isi	4,60	Sangat Valid
Keakuratan Materi	4,55	Sangat Valid
Kesesuaian dengan Kompetensi	4,48	Sangat Valid
Penerapan Prinsip Pembelajaran Mendalam	4,50	Sangat Valid
Kebahasaan	4,45	Sangat Valid
Rata-rata Total	4,52	Sangat Valid

Tabel 2. Hasil Validasi Ahli Media

Aspek yang Dinilai	Skor Rata-rata	Kategori
Tampilan dan Desain Grafis	4,67	Sangat Valid
Kemudahan Penggunaan	4,50	Sangat Valid
Sistematika Penyajian	4,42	Sangat Valid
Kesesuaian dengan Karakteristik Mahasiswa	4,33	Sangat Valid
Rata-rata Total	4,48	Sangat Valid

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, modul IPA eksperimen berbasis *Deep Learning* yang dikembangkan memenuhi kriteria sangat valid dari aspek materi maupun media dengan skor rata-rata masing-masing 4,52 dan 4,48 dari skala maksimum 5,00. Aspek kelayakan isi memperoleh skor tertinggi (4,60) yang mengindikasikan bahwa materi eksperimen yang disajikan sesuai dengan kompetensi calon guru SD, akurat secara keilmuan, dan relevan dengan kurikulum IPA SD. Aspek penerapan prinsip *Deep Learning* memperoleh skor 4,50 yang menunjukkan bahwa desain instruksional modul telah mengintegrasikan karakteristik *Deep Learning* secara efektif.

Para validator memberikan beberapa saran perbaikan yang telah ditindaklanjuti dalam revisi produk. Dari aspek materi, validator menyarankan: (1) penambahan peta konsep yang lebih detail untuk menunjukkan keterkaitan antar topik secara visual dan eksplisit; (2) penyempurnaan pertanyaan reflektif agar lebih progressive dan menantang pemikiran tingkat tinggi; (3) penambahan contoh miskonsepsi umum dan strategi remediasinya; dan (4) perbaikan konsistensi penggunaan istilah ilmiah. Dari aspek media, validator menyarankan: (1) perbaikan tata letak untuk meningkatkan readability; (2) penambahan ilustrasi dan diagram yang lebih representatif; (3) penggunaan warna yang lebih kontras untuk elemen penting; dan (4) penyempurnaan navigasi antar bagian modul.

Kepraktisan modul diukur melalui dua tahap uji coba: uji coba terbatas (*small group trial*) kepada 10 mahasiswa untuk mengidentifikasi kendala teknis dan keterbacaan, dilanjutkan dengan uji coba lapangan (*field trial*) kepada 30 mahasiswa PGSD untuk menilai kepraktisan dalam implementasi pembelajaran yang sesungguhnya. Hasil angket respon mahasiswa pada uji coba lapangan disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Angket Respon Mahasiswa (Uji Coba Lapangan, N=30)

Aspek yang Dinilai	Persentase	Kategori
Kemudahan Memahami Konsep Secara Mendalam	91,2%	Sangat Praktis
Kejelasan Petunjuk Eksperimen	90,5%	Sangat Praktis

Kebermanfaatan Pertanyaan Reflektif	88,8%	Sangat Praktis
Kebermanfaatan Peta Konsep	87,3%	Sangat Praktis
Ketertarikan terhadap Modul	92,1%	Sangat Praktis
Kemudahan Penggunaan Modul	87,7%	Sangat Praktis
Rata-rata Total	89,6%	Sangat Praktis

Berdasarkan Tabel 3, modul IPA eksperimen berbasis *Deep Learning* memperoleh respon sangat positif dari mahasiswa dengan persentase rata-rata 89,6% yang termasuk dalam kategori sangat praktis. Aspek ketertarikan terhadap modul memperoleh persentase tertinggi (92,1%) yang mengindikasikan bahwa desain modul mampu membangkitkan motivasi dan engagement mahasiswa dalam pembelajaran. Aspek kemudahan memahami konsep secara mendalam memperoleh persentase 91,2% yang menunjukkan bahwa strategi *Deep Learning* yang diterapkan efektif memfasilitasi konstruksi pemahaman konseptual yang kuat. Mahasiswa memberikan respon positif melalui komentar kualitatif dalam angket terbuka. Beberapa komentar representatif antara lain: "Modul ini sangat membantu memahami konsep IPA secara mendalam, tidak hanya menghafal prosedur eksperimen" (M-07); "Pertanyaan reflektif membuat saya berpikir lebih dalam tentang mengapa fenomena terjadi" (M-15); "Peta konsep memudahkan saya melihat keterkaitan antar topik IPA yang sebelumnya terlihat terpisah-pisah" (M-22); dan "Lembar refleksi membantu mengaitkan pengetahuan baru dengan pengalaman mengajar yang pernah saya alami saat PPL" (M-28). Namun, beberapa mahasiswa juga memberikan masukan untuk perbaikan, seperti kebutuhan akan lebih banyak contoh aplikasi konsep dalam kehidupan sehari-hari dan penambahan video demonstrasi eksperimen.

Efektivitas modul IPA eksperimen berbasis *Deep Learning* diukur melalui tes keterampilan proses sains yang diberikan pada saat pretest (sebelum penggunaan modul) dan posttest (setelah penggunaan modul selama 8 pertemuan). Hasil pretest, posttest, dan N-Gain untuk setiap aspek keterampilan proses sains disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pretest dan Posttest Keterampilan Proses Sains (N=30)

Aspek KPS	Pretest	Posttest	N-Gain	Kategori	Sig. (2-tailed)
Mengamati	56,2	86,8	0,81	Tinggi	0,000
Mengelompokkan	58,5	87,2	0,78	Tinggi	0,000
Menafsirkan	57,8	85,4	0,75	Tinggi	0,000
Meramalkan	60,2	84,6	0,73	Tinggi	0,000
Berkomunikasi	59,6	83,8	0,70	Tinggi	0,000
Menyimpulkan	58,1	82,5	0,68	Sedang	0,000
Rata-rata		58,4	85,6	0,74	Tinggi 0,000

Berdasarkan Tabel 4, terdapat peningkatan keterampilan proses sains yang signifikan pada semua aspek setelah mahasiswa menggunakan modul berbasis *Deep Learning*. Nilai N-Gain rata-rata sebesar 0,74 menunjukkan efektivitas modul dalam kategori tinggi. Hasil uji paired sample t-test menunjukkan perbedaan yang signifikan antara skor pretest dan posttest ($p = 0,000 < 0,05$) pada semua aspek keterampilan proses sains, yang mengindikasikan bahwa peningkatan yang terjadi bukan karena faktor kebetulan melainkan dampak nyata dari intervensi pembelajaran menggunakan modul.

Peningkatan tertinggi terjadi pada aspek mengamati dengan N-Gain 0,81 (kategori tinggi). Hal ini menunjukkan bahwa fitur *Deep Learning* dalam modul, khususnya pertanyaan pemandu observasi dan scaffolding untuk pengamatan sistematis, sangat efektif meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam melakukan observasi ilmiah yang detail, akurat, dan purposeful. Aspek mengelompokkan mengalami peningkatan dengan N-Gain 0,78 yang mengindikasikan bahwa peta konsep dan aktivitas klasifikasi berbasis

pemahaman konseptual berhasil memfasilitasi mahasiswa mengembangkan kemampuan kategorisasi berdasarkan prinsip ilmiah, bukan sekadar ciri superfisial. Aspek menafsirkan dan meramalkan masing-masing memperoleh N-Gain 0,75 dan 0,73 yang menunjukkan peningkatan tinggi. Kedua keterampilan ini memerlukan kemampuan analisis dan reasoning yang kompleks, yang difasilitasi oleh pertanyaan reflektif dalam modul yang mendorong mahasiswa menganalisis pola, hubungan sebab-akibat, dan membuat inferensi berbasis bukti. Aspek berkomunikasi memperoleh N-Gain 0,70 yang mengindikasikan bahwa aktivitas diskusi dan presentasi hasil eksperimen yang terstruktur dalam modul berhasil meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam mengkomunikasikan ide ilmiah secara jelas, logis, dan argumentatif. Aspek menyimpulkan memperoleh N-Gain 0,68 yang termasuk kategori sedang menuju tinggi. Meskipun peningkatannya tidak setinggi aspek lainnya, namun tetap menunjukkan efektivitas yang baik. Keterampilan menyimpulkan merupakan keterampilan proses sains tingkat tinggi yang memerlukan kemampuan sintesis, evaluasi, dan generalisasi, sehingga wajar jika memerlukan waktu latihan yang lebih intensif untuk berkembang optimal dibandingkan keterampilan proses sains dasar seperti mengamati dan mengelompokkan.

Pembahasan

Keberhasilan modul ini dalam meningkatkan keterampilan proses sains (KPS) dapat dijelaskan melalui beberapa landasan teoritis yang saling melengkapi. Secara konstruktivis, modul memfasilitasi proses asimilasi dan akomodasi Piaget melalui aktivitas eksperimen aktif, sekaligus mengimplementasikan prinsip *Zone of Proximal Development* (ZPD) Vygotskian melalui scaffolding bertingkat dan diskusi kelompok yang mendorong collaborative knowledge construction (Santrock, 2011); Woolfolk, 2020). Teori meaningful learning Ausubel terwujud melalui peta konsep sebagai advance organizer dan aktivasi prior knowledge di setiap topik (Slavin, 2018), sementara *constructive alignment* Biggs & Tang (2011) tercermin dalam keselarasan antara tujuan pembelajaran level C4–C6, aktivitas eksperimen berbasis scientific reasoning, dan asesmen autentik. Secara lebih spesifik, strategi *Deep Learning* yang diintegrasikan elaborasi, organisasi, dan metakognisi terbukti memiliki dampak signifikan terhadap retensi dan transfer pengetahuan (Hattie & Donoghue 2016). N-Gain rata-rata 0,74 dalam penelitian ini konsisten dengan effect size 0,75 yang dilaporkan dalam meta-analisis tersebut, namun penelitian ini memberikan nilai tambah dengan mengintegrasikan ketiga strategi tersebut secara kohesif dalam satu desain modul bukan menerapkannya secara terpisah.

Muhamad Dah et al (2024) menunjukkan bahwa pendekatan open inquiry, yang termasuk tahap perancangan eksperimen, pengumpulan dan analisis data, serta komunikasi hasil, berdampak positif pada pemahaman konseptual, motivasi siswa, dan keterampilan berpikir ilmiah terutama keterampilan terkait scientific and thinking skills. Modul yang dikembangkan dalam penelitian ini memenuhi keempat kriteria tersebut. Pertama, eksperimen dalam modul menggunakan alat dan bahan yang accessible dan menghasilkan fenomena yang observable. Kedua, pertanyaan pemandu mendorong mahasiswa melakukan inquiry dan tidak hanya mengikuti prosedur cookbook. Ketiga, scaffolding dan pertanyaan reflektif memfasilitasi konstruksi pemahaman konseptual. Keempat, aktivitas analisis data dan inferensi mengembangkan scientific reasoning.

Peningkatan tertinggi pada aspek mengamati (N-Gain 0,81) dalam penelitian ini sejalan dengan pentingnya observational skills dalam pembelajaran sains yang ditekankan oleh berbagai ahli. Eberbach & Kevin Crowley (2009) menyatakan bahwa scientific observation bukan sekadar "seeing" tetapi merupakan "theory-laden perception" yang melibatkan prior knowledge, expectation, dan framework konseptual. Modul ini melatih mahasiswa melakukan observasi ilmiah yang purposeful dan systematic melalui pertanyaan pemandu seperti "Apa yang Anda amati?", "Mengapa fenomena ini terjadi?", dan "Bagaimana pengamatan ini terkait dengan konsep yang telah dipelajari?". Menurut Ignacio & Yabut (2025) dalam pendidikan sains keterampilan proses sains melibatkan rangkaian kemampuan mulai dari observasi hingga interpretasi data, yang secara konseptual berbeda tetapi saling berkaitan dalam praktik ilmiah. Modul ini secara eksplisit melatih mahasiswa membuat perbedaan tersebut melalui lembar kerja yang memisahkan kolom "Data

Observasi" dan "Interpretasi". Hasil wawancara dengan beberapa mahasiswa menunjukkan bahwa sebelum menggunakan modul, mereka cenderung mencampur observasi dan interpretasi, namun setelah menggunakan modul mereka lebih menyadari terhadap perbedaan tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa modul berhasil meningkatkan quality of observation, bukan hanya quantity.

Peningkatan aspek mengelompokkan (N-Gain 0,78) mencerminkan perkembangan kemampuan classification yang merupakan fundamental cognitive process dalam sains. Maesaroh et al (2023) science process skills termasuk kemampuan seperti mengamati, mengklasifikasikan, menginterpretasi, dan menyimpulkan, yang merupakan keterampilan kognitif dasar yang harus dikembangkan dalam proses pembelajaran ilmiah. Modul ini dirancang untuk melatih mahasiswa secara eksplisit dalam mengklasifikasikan objek dan fenomena berdasarkan prinsip ilmiah melalui peta konsep yang menunjukkan struktur hierarkis konsep serta aktivitas klasifikasi yang disertai pertanyaan "Mengapa objek ini termasuk kategori ini?" dan "Apa dasar ilmiah dari pengelompokan ini?".

Kessler et al (2023) menunjukkan bahwa melalui intervensi yang menekankan pembuatan kategori berbasis skema kausal (*schema-governed categories*) dan latihan pemetaan struktural, peserta dapat mengalami pergeseran menuju pola pengelompokan yang lebih "expert-like". Modul kami menerapkan gagasan serupa memberikan scaffolding yang bertahap lalu dipudar (*gradually faded*) untuk melatih klasifikasi berbasis prinsip. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah menggunakan modul, mahasiswa lebih mampu mengidentifikasi underlying principles saat mengelompokkan fenomena dalam IPA indikasi bahwa modul meningkatkan kecenderungan berpikir layaknya expert (*expert-like thinking*) dalam konteks klasifikasi ilmiah. Peningkatan aspek menafsirkan (N-Gain 0,75) mencerminkan perkembangan kemampuan interpretasi yang merupakan higher-order thinking skill. Modul ini melatih kemampuan interpretasi melalui pertanyaan analisis data seperti "Apa pola yang Anda temukan?", "Bagaimana data ini mendukung atau menolak hipotesis?", dan "Apa implikasi dari hasil ini?". Hasil penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa yang menggunakan modul lebih mampu membuat interpretasi yang didukung oleh bukti (*evidence-based interpretation*) dibandingkan sebelumnya yang cenderung membuat interpretasi spekulatif tanpa dasar empiris yang kuat.

Peningkatan aspek meramalkan (N-Gain 0,73) mencerminkan perkembangan kemampuan prediksi yang merupakan komponen penting dari *scientific reasoning*. Shofiyah et al (2024) menunjukkan bahwa hypothetical-deductive reasoning termasuk dalam domain keterampilan penalaran ilmiah yang digunakan mahasiswa dalam menyelesaikan tugas-tugas IPA, yang mencerminkan kemampuan untuk memprediksi hasil berdasarkan hipotesis dan data yang tersedia. Dalam modul kami, kemampuan membuat prediksi dilatih secara eksplisit melalui kegiatan yang mendorong mahasiswa untuk mengembangkan hipotesis yang dapat diuji dan menilai hubungan antara prediksi dan bukti empiris. Modul ini melatih kemampuan prediksi melalui tahapan eksperimen yang mengharuskan mahasiswa membuat hipotesis sebelum melakukan eksperimen dan pertanyaan seperti "Apa yang akan terjadi jika...?" dan "Mengapa Anda memprediksi demikian?". Hasil penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa yang menggunakan modul lebih mampu membuat prediksi yang logis dan berbasis teori dibandingkan sebelumnya yang cenderung membuat guess tanpa reasoning yang jelas.

Krell et al (2022) menyatakan bahwa dalam *Scientific Discovery as Dual Search* (SDDS) model, scientific reasoning dikonseptualisasikan sebagai pencarian dalam dua problem spaces yaitu hypothesis space dan experiment space. Modul ini memfasilitasi dual-space search dengan mendorong mahasiswa tidak hanya merumuskan hipotesis tetapi juga mendesain eksperimen yang appropriate untuk menguji hipotesis. Pertanyaan dalam modul seperti "Variabel apa yang perlu dikontrol?" dan "Bagaimana Anda menguji prediksi ini?" melatih mahasiswa berpikir tentang *experimental design* yang valid. Hasil wawancara menunjukkan bahwa mahasiswa lebih aware terhadap pentingnya controlling variables dan operational definition setelah menggunakan modul.

Peningkatan aspek berkomunikasi (N-Gain 0,70) sejalan dengan pentingnya scientific communication dalam pembelajaran sains yang ditekankan oleh berbagai framework sains kontemporer. Morris (2025) menyatakan bahwa praktik-praktik sains termasuk konstruksi penjelasan (*constructing explanations*) dan berargumentasi berdasarkan bukti (*engaging in argument from evidence*) merupakan bagian dari science and engineering practices yang saling terkait dalam proses pembelajaran sains. Modul ini melatih kemampuan komunikasi ilmiah melalui aktivitas presentasi hasil eksperimen, diskusi kelompok, dan penulisan laporan dengan format scientific writing. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa yang menggunakan modul lebih mampu mengkomunikasikan ide ilmiah dengan struktur yang logis (*claim-evidence-reasoning*), menggunakan terminologi ilmiah yang tepat, dan membuat argumentasi yang persuasive dibandingkan sebelumnya.

Aspek menyimpulkan memperoleh N-Gain 0,68 yang termasuk kategori sedang menuju tinggi. Meskipun peningkatannya tidak setinggi aspek lainnya, namun tetap menunjukkan efektivitas yang baik. Hal ini dapat dijelaskan dengan framework Bloom's Taxonomy revised dimana synthesizing dan creating termasuk dalam highest-order thinking yang memerlukan integrasi berbagai kemampuan kognitif. Kemampuan menyimpulkan memerlukan tidak hanya pemahaman tentang data tetapi juga kemampuan mengidentifikasi pola, membuat generalisasi, dan menghubungkan dengan teori yang lebih luas. Dawson et al (2024) secara eksplisit menyatakan bahwa scientific thinking dan decision-making bergantung pada kemampuan individu untuk menilai bukti yang tersedia, serta membuat dan menjustifikasi kesimpulan yang valid berdasarkan bukti tersebut dalam konteks kehidupan nyata dan tugas ilmiah. Banyak siswa dan mahasiswa mengalami kesulitan dalam mengkoordinasikan kedua aspek ini, cenderung membuat kesimpulan yang tidak didukung bukti atau mengabaikan teori. Modul ini melatih kemampuan menyimpulkan melalui scaffolding bertingkat: pertama, mengidentifikasi pola dari data; kedua, menghubungkan pola dengan konsep teoritis; ketiga, membuat generalisasi; dan keempat, mengidentifikasi limitasi kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa yang menggunakan modul lebih mampu membuat kesimpulan yang valid dan reliable dibandingkan sebelumnya.

Dalam konteks pendidikan calon guru, penelitian ini memperkuat argumen Nilsson & Loughran (2017) yang menyatakan bahwa *pedagogical content knowledge* (PCK) calon guru IPA berkembang optimal ketika mereka tidak hanya belajar tentang sains tetapi mengalami sendiri pendekatan pembelajaran yang kelak akan mereka terapkan prinsip modeling dalam teacher education. Lebih lanjut, Abell (2007) dalam tinjauan komprehensifnya tentang science teacher education menekankan bahwa bahan ajar perlu dirancang untuk mengembangkan KPS secara eksplisit sekaligus membangun pemahaman tentang nature of science, yang menjadi dasar desain modul ini. Ini menjadi pembeda utama dari modul-modul IPA yang dikembangkan sebelumnya baik modul kontekstual Darmuki et al. (2023) maupun modul berbasis inkuiri (Pinasthika & Kaltsum, 2022) yang belum mengintegrasikan ketiga komponen Deep Learning (peta konsep, pertanyaan reflektif, scaffolding bertingkat) secara sistematis untuk seluruh enam aspek KPS sekaligus.

Perbandingan dengan studi terdahulu memperkuat posisi penelitian ini. Saregar et al. (2016) membuktikan bahwa model CUPs efektif meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi (effect size 0,89), dan Yuliati (2016) menunjukkan PBL dapat meningkatkan KPS siswa SD (N-Gain 0,68). Penelitian ini melampaui keduanya dengan N-Gain 0,74 pada subjek mahasiswa PGSD, yang dicapai bukan melalui satu strategi tunggal melainkan melalui integrasi komprehensif prinsip Deep Learning dalam seluruh komponen modul. Perbedaan ini juga dipengaruhi oleh faktor kematangan kognitif subjek dan durasi implementasi yang lebih panjang (8 pertemuan). Terdapat juga perbedaan dengan beberapa penelitian terdahulu Kurniawati (2021) science process skills dibagi menjadi dua kategoriyaitu basic process skills dan integrated process skills. Basic skills mencakup kemampuan seperti observasi, klasifikasi, inferensi, dan prediksi, sedangkan integrated skills mencakup tugas-tugas yang lebih kompleks seperti mengontrol variabel, merumuskan hipotesis, menginterpretasi data, dan melakukan eksperimen. Dalam penelitian ini, semua aspek keterampilan

proses sains (baik basic maupun integrated) menunjukkan peningkatan yang tinggi, yang mungkin disebabkan oleh scaffolding yang intensive dan *explicitness* dalam teaching keterampilan proses sains. Modul tidak hanya menyediakan kesempatan untuk menggunakan keterampilan proses sains tetapi juga secara eksplisit mengajarkan bagaimana melakukan setiap keterampilan dengan rubrik dan contoh yang jelas.

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan ilmu pendidikan IPA, khususnya dalam hal penyediaan model konkret pengoperasionalisasian prinsip pembelajaran mendalam (*deep learning*) pada modul IPA berbasis eksperimen, sekaligus menghadirkan bukti empiris efektivitasnya dalam konteks pendidikan calon guru SD sebuah ranah yang selama ini masih minim kajian. Selain itu, penelitian ini turut menyumbangkan kontribusi metodologis melalui pengembangan instrumen keterampilan proses sains yang komprehensif, tervalidasi, dan reliabel ($\alpha = 0,89$), serta menawarkan kerangka konseptual yang mengintegrasikan berbagai perspektif teoretis mulai dari konstruktivisme Piaget dan Vygotsky, *meaningful learning* Ausubel, hingga pendekatan *scientific practices* dalam satu kesatuan yang koheren dan saling memperkuat. Kendati demikian, penelitian ini tidak luput dari sejumlah keterbatasan yang perlu diakui secara jujur: desain *one group pretest-posttest* tanpa kelompok kontrol menyisakan ruang keraguan terhadap validitas internal, sementara uji coba yang hanya dilakukan di satu program studi PGSD membatasi generalisasi temuan ke konteks yang lebih luas. Pengukuran efektivitas yang bertumpu pada tes tertulis semata belum mampu merepresentasikan performa mahasiswa dalam praktik mengajar yang sesungguhnya, dan belum ada pengukuran retensi jangka panjang yang membuktikan keberlanjutan pemahaman pasca-implementasi. Di sisi lain, perbedaan kecepatan adaptasi mahasiswa terhadap tuntutan kognitif *deep learning*, variasi komitmen dosen dalam mengimplementasikan modul, serta perbedaan karakteristik individual mahasiswa seperti gaya belajar, pengetahuan awal, dan motivasi intrinsik merupakan faktor-faktor yang belum dieksplorasi secara mendalam dan membuka peluang bagi agenda penelitian lanjutan yang lebih komprehensif dan bernuansa.

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang telah diidentifikasi, terdapat beberapa implikasi untuk praktik pendidikan dan agenda penelitian selanjutnya. Untuk praktik pendidikan, modul IPA eksperimen berbasis *Deep Learning* yang dikembangkan dapat diadopsi oleh program studi PGSD lain sebagai bahan ajar untuk mata kuliah IPA Eksperimen SD. Adopsi perlu disertai dengan pelatihan bagi dosen tentang prinsip *Deep Learning* dan strategi implementasi yang efektif untuk memastikan *implementation fidelity*. Prinsip *Deep Learning* yang diterapkan dalam modul ini juga dapat diadaptasi untuk pengembangan bahan ajar mata kuliah lain, tidak terbatas pada IPA eksperimen. Karakteristik *Deep Learning* seperti peta konsep, pertanyaan reflektif, scaffolding bertingkat, dan lembar refleksi dapat diaplikasikan *across disciplines*. Diseminasi prinsip *Deep Learning* perlu dilakukan melalui workshop, seminar, atau publikasi di jurnal pendidikan untuk menjangkau audiens yang lebih luas.

Untuk penelitian selanjutnya, beberapa agenda penelitian dapat dikembangkan. Pertama, penelitian dengan desain *quasi-experimental* atau *experimental* dengan kelompok kontrol untuk memperkuat *internal validity* tentang efektivitas *Deep Learning*. Kedua, penelitian replikasi di berbagai setting (universitas berbeda, program studi berbeda, level pendidikan berbeda) untuk menguji *external validity* dan *generalizability*. Ketiga, penelitian longitudinal dengan *follow-up measurement* untuk mengukur *long-term retention* dan dampak terhadap praktik mengajar mahasiswa ketika mereka sudah menjadi guru. Keempat, penelitian kualitatif yang mengeksplorasi secara mendalam pengalaman, perspektif, dan *challenges* mahasiswa dalam *Deep Learning*. Kelima, penelitian tentang *differential effectiveness* untuk mahasiswa dengan karakteristik yang berbeda (*learning style*, *prior knowledge*, *motivation*) menggunakan pendekatan *aptitude-treatment interaction*. Keenam, penelitian tentang faktor-faktor yang mempengaruhi *implementation fidelity* dan kualitas implementasi modul oleh dosen yang berbeda. Ketujuh, penelitian tentang *cost-effectiveness* dari *Deep Learning* dibandingkan pembelajaran konvensional untuk memberikan informasi bagi *decision maker* tentang alokasi sumber daya.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan modul IPA Eksperimen SD berbasis pendekatan *Deep Learning* menggunakan model ADDIE yang memenuhi kriteria sangat valid (ahli materi 4,52; ahli media 4,48), sangat praktis (89,6%), dan efektif meningkatkan KPS mahasiswa PGSD dengan N-Gain rata-rata 0,74 (kategori tinggi) pada keenam aspek mengamati, mengelompokkan, menafsirkan, meramalkan, berkomunikasi, dan menyimpulkan. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sistematis tiga komponen Deep Learning peta konsep hierarkis, pertanyaan reflektif berjenjang, dan scaffolding bertingkat dalam satu desain modul yang mencakup seluruh aspek KPS secara bersamaan, sesuatu yang belum dilakukan modul IPA PGSD sebelumnya. Selain meningkatkan kompetensi mahasiswa, modul ini secara bersamaan mempersiapkan calon guru untuk menerapkan pendekatan serupa dalam pembelajaran IPA di sekolah dasar sesuai prinsip modeling dalam teacher education. Modul dapat diadopsi oleh program studi PGSD lain, dan prinsip desainnya dapat diadaptasi lintas mata kuliah. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan desain eksperimental dengan kelompok kontrol, replikasi di berbagai institusi, serta pengukuran dampak jangka panjang terhadap praktik mengajar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Muhammadiyah Metro yang telah memberikan dukungan pendanaan penelitian, para validator ahli materi dan media yang telah memberikan masukan konstruktif, serta mahasiswa PGSD yang telah berpartisipasi aktif dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abell, S. K. (2007). Research On Science Teacher Knowledge. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.). *Handbook Of Research On Science Education*.
- Andriani, H., Haifaturrahman, & Muhdar, S. (2025). Peran Guru, Kegiatan Literasi Dan Meningkatkan Keterampilan Siswa. *Jurnal Basicedu*, 9(6), 3(2), 524–532. <https://doi.org/10.2334.444>
- Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Eaching For Quality Learning At University: What The Student Does* (4th Ed). Open University Press.
- Darmuki, A., Hidayati, N. A., Tanghal, A. B., & Esteban, A. M. (2023). Pengembangan Dan Keefektifan Model Buku Teks Mata Kuliah Strategi Pembelajaran Berbasis Pendekatan Kontekstual (Development And Effectiveness Of Textbook Models For Learning Strategies Based On Contextual Approaches). *Jurnal Kembara*. 9(1), 2232–2238. <https://doi.org/10.22219/Kembara.V9i1.22635>
- Dawson, C., Julku, H., Pihlajamäki, M., Kaakinen, J. K., Schooler, J. W., & Simola, J. (2024). Evidence-Based Scientific Thinking And Decision-Making In Everyday Life. *Cognitive Research: Principles And Implications*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/S41235-024-00578-2>
- Eberbach, C., & Kevin Crowley. (2009). From Everyday To Scientific Observation: How Children Learn To Observe The Biologist's World. *Review Of Educational Research*, 39–68. <http://doi.10.3102/0899>
- Hattie, J. A. C., & Donoghue, G. M. (2016). Learning Strategies: A Synthesis And Conceptual Model. *Npj Science Of Learning*, 1(1). <https://doi.org/10.1038/Npjscilearn.2016.13>
- Ignacio, J. D., & Yabut, J. D. (2025). Integrated Science Process Skills Of Science, Technology And Engineering Students: Challenges And Opportunities For Improvement. *Formatif: Jurnal Ilmiah Pendidikan Mipa*, 15(1), 229–240. <http://doi.10.331.343434>
- Kessler, F., Proske, A., Urbas, L., Goldwater, M., Krieger, F., Greiff, S., & Narciss, S. (2023). Promoting

- 713 Modul IPA Eksperimen Berbasis Pendekatan Deep Learning untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Mahasiswa PGSD – Muhamad Alfarisi, Andi Widiono
DOI : <https://doi.org/10.31004/basicedu.v10i2.11617>
- Complex Problem Solving By Introducing Schema-Governed Categories Of Key Causal Models. *Behavioral Sciences*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/Bs13090701>
- Krell, M., Vorholzer, A., & Nehring, A. (2022). Scientific Reasoning In Science Education: From Global Measures To Fine-Grained Descriptions Of Students' Competencies. *Education Sciences*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/Educsci12020097>
- Kurniawati, A. (2021). Science Process Skills And Its Implementation In The Process Of Science Learning Evaluation In Schools. *Journal Of Science Education Research*, 5(2), 16–20. <https://doi.org/10.21831/>
- Maesaroh, M., Kartikawati, E., Elvianasti, M., Irdalisa, I., & Murwitaningsih, S. (2023). Study Of Science Process Skills In Lesson Plan By Prospective Biology Teachers Based On Merdeka Curriculum. *Al-Ishlah: Jurnal Pendidikan*, 15(3), 2866–2873. <https://doi.org/10.35445/Alishlah.V15i3.2600>
- Morris, D. L. (2025). Rethinking Science Education Practices: Shifting From Investigation-Centric To Comprehensive Inquiry-Based Instruction. *Education Sciences*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/Ed>
- Muhamad Dah, N., Mat Noor, M. S. A., Kamarudin, M. Z., & Syed Abdul Azziz, S. S. (2024). The Impacts Of Open Inquiry On Students' Learning In Science: A Systematic Literature Review. *Educational Research Review*, 43(March 2023), 100601. <https://doi.org/10.1016/J.Edurev.2024.100601>
- Nilsson, P., & Loughran, J. (2017). Exploring The Development Of Pre-Service Science Elementary Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Journal Of Science Teacher Education*, 23(7). <https://doi.org/10.1007/S10972-011-9239-Y>
- Paris, C. Z. L., Sisi, L., & Juwairiyah, A. (2025). Pengembangan Literasi Sains Pada Siswa Sekolah Dasar Melalui Pembelajaran Ipa. *Jurnal Pendidikan Multidisiplin*, 1(11–19), 53–60. <https://doi.org/10.54297/Jpmd.V1i1.880>
- Pinasthika, Rentah Puguh & Kaltsum, Honest Umami (2022). Analisis Penggunaan Metode Eksperimen Pada Pembelajaran Ipa Di Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 5(5), 3(2), 524–532. <https://doi.org/10.31004/basicedu.V6i4.3304>
- Ristiani, R., Ali, A., & Apriyanto, A. (2025). *Konsep Dasar Pembelajaran Ipa*. Pt. Sonpedia Publishing Indonesia
- Santiawati, S., Yasir, M., Hidayati, Y., & Hadi, W. P. (2022). Analisis Keterampilan Proses Sains Siswa Smp Negeri 2 Burneh. *Natural Science Education Research*, 4(3), 222–230. <https://doi.org/10.21107/Nser.V4i3.8435>
- Santrock, J. W. (2011). *Life-Span Development (Perkembangan Masa-Hidup) Edisi Ketigabelas Jilid 1*. Erlangga.
- Saregar, A., Latifah, S., & Sari, M. (2016). Efektivitas Model Pembelajaran Cups: Dampak Terhadap Kemampuan Berpikir Tingkat Tinggi Peserta Didik Madrasah Aliyah Mathla'ul Anwar Gisting Lampung. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 5(2), 233–244. <https://doi.org/10.3.667.2.332>
- Septiani, S., & Siti, F. (2024). Analisis Keterampilan Proses Sains Peserta Didik Sekolah Dasar Pada Pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam. *Mentari: Journal Of Islamic Primary School*, 2(3), 194–204. <https://doi.org/10.3.1233544>
- Shofiyah, N., Suprpto, N., Prahani, B. K., Jatmiko, B., Anggraeni, D. M., & Nisa', K. (2024). Exploring Undergraduate Students' Scientific Reasoning In The Force And Motion Concept. *Cogent Education*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/2331186x.2024.2365579>
- Slavin, R. E. (2018). *Educational Psychology: Theory And Practice* (12th Ed). Pearson
- Woolfolk, A. (2020). *Educational Psychology* (14th Ed). Pearson.
- Yuliati, Y. (2016). Peningkatan Keterampilan Proses Sains Siswa Sekolah Dasar Melalui Model Pembelajaran Berbasis Masalah. *Jurnal Cakrawala Pendas*, 2(2). <https://doi.org/10.31949/Jcp.V2i2.335>.