PENGARUH PEMBELAJARAN MENDALAM BERBASIS MULTIPEL REPRESENTASI DAN ISU SOSIOSAINTIFIK TERHADAP KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS SISWA

Ahmad Kurnia Dwiputra*, Ibnul Mubarok

Prodi Pendidikan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia
Jl. Raya Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

*Email: akurniadp@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis perbedaan peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa melalui pembelajaran mendalam berbasis multipel representasi dan isu sosiosaintifik pada materi degradasi ekosistem. Penelitian kuasi-eksperimen dengan desain nonequivalent control group melibatkan 64 siswa kelas X SMA Negeri 8 Semarang yang dipilih secara purposif: kelas X.6 sebagai kelompok eksperimen dan X.7 sebagai kelompok kontrol, masing-masing 32 siswa. Instrumen berupa 10 soal esai berdasarkan indikator berpikir kritis dengan reliabilitas Cronbach $\alpha = 0{,}86$. Analisis menggunakan statistik deskriptif, uji t sampel independen, N-gain, dan Cohen's d. Rerata skor kelompok eksperimen meningkat dari 61,71 menjadi 85,31, sedangkan kelompok kontrol dari 59,84 menjadi 66,87. N-gain eksperimen sebesar 0,61 (sedang) dan kontrol 0,16 (rendah). Perbedaan skor posttest signifikan ($t = -9{,}945$; $df = 62$; $p < 0{,}001$), dengan ukuran efek 2,48 (besar). Analisis pendukung menunjukkan kualitas argumentasi rasional, humanistik, religius, dan inklusif kelompok eksperimen lebih tinggi daripada kelompok kontrol. Pembelajaran mendalam berbasis multipel representasi dan isu sosiosaintifik menghasilkan peningkatan keterampilan berpikir kritis yang lebih besar daripada pembelajaran kontrol pada materi degradasi ekosistem. Pembelajaran mendalam berbasis multiple representasi dan isu sosiosaintifik berpotensi memperkuat penalaran kritis berbasis bukti dan pengambilan keputusan atas persoalan lingkungan.

Kata kunci: berpikir kritis, degradasi ekosistem, isu sosiosaintifik, multipel representasi, pembelajaran mendalam.

Abstract

This study examined differences in the improvement of students' critical thinking skills through deep learning integrating multiple representations and socio-scientific issues in ecosystem degradation, as well as the magnitude of its effect. A quasi-experimental nonequivalent control group design involved 64 tenth-grade students at SMA Negeri 8 Semarang selected purposively: class X.6 as the experimental group and X.7 as the control group (32 students each). The instrument comprised ten essay items aligned with Ennis's critical thinking indicators, with Cronbach's alpha of 0.86. Data were analyzed using descriptive statistics, an independent-samples t-test, normalized gain, and Cohen's d. Mean scores increased from 61.71 to 85.31 in the experimental group and from 59.84 to 66.87 in the control group. Normalized gains were 0.61 (medium) and 0.16 (low), respectively. Posttest scores differed significantly ($t = -9.945$; $df = 62$; $p < 0.001$), with a large effect size ($d = 2.48$). Supporting analysis indicated higher rational, humanistic, religious, and inclusive argumentation scores in the experimental group. Deep learning based on multiple representations and socioscientific issues resulted in greater improvements in critical thinking skills than control-group instruction on the topic of ecosystem degradation. Deep learning based on multiple representations and socioscientific issues has the potential to enhance evidence-based critical reasoning and decision-making in addressing environmental problems.

***Keywords**: critical thinking, deep learning, ecosystem degradation, multiple representations, socio-scientific issues.*

PENDAHULUAN

Pembelajaran biologi tidak cukup hanya mengembangkan penguasaan konsep, tetapi juga perlu membekali siswa dengan keterampilan mengevaluasi bukti dan merumuskan keputusan ketika persoalan lingkungan. Degradasi ekosistem, deforestasi, dan perubahan iklim merupakan masalah kompleks yang menuntut menghadapi penalaran ilmiah sekaligus pertimbangan sosial. García-Carmona (2025) menegaskan keterkaitan antara berpikir ilmiah dan berpikir kritis dalam pendidikan sains.

Persoalan degradasi ekosistem merupakan konteks otentik untuk mengembangkan keterampilan tersebut. Penurunan tutupan hutan, fragmentasi habitat, pencemaran, dan hilangnya keanekaragaman hayati melibatkan relasi antara proses ekologis dan keputusan manusia. Siswa perlu membedakan pernyataan, data, dan inferensi; menginterpretasi bukti kuantitatif; serta mempertimbangkan konsekuensi ekologis maupun sosial sebelum mengambil posisi. Dengan demikian, pembelajaran materi ini tidak cukup berhenti pada pengenalan definisi dan penyebab kerusakan lingkungan, melainkan harus memberi pengalaman menyelidiki masalah yang dapat diperdebatkan berdasarkan bukti.

Dalam perspektif pendidikan sains, berpikir kritis bukan sekadar menjawab pertanyaan tingkat tinggi, tetapi mencakup proses memperjelas masalah, menilai dasar informasi, menarik inferensi, memberikan penjelasan lanjut, serta menentukan strategi tindakan. Lima kelompok indikator tersebut dirumuskan dalam kerangka Ennis (1991), yang digunakan sebagai landasan penyusunan instrumen penelitian ini. Pengukuran berdasarkan indikator yang eksplisit penting agar peningkatan skor tidak ditafsirkan secara umum tanpa menunjukkan aspek penalaran yang berkembang. Keterampilan berpikir kritis siswa pada materi ekosistem masih perlu ditingkatkan. Harahap *et al*. (2020) melaporkan rerata skor keterampilan berpikir kritis siswa 53,15, sedangkan Santia dan Hidayati (2024) melaporkan capaian 61,98%. Pembelajaran yang bertumpu pada hafalan cenderung memberi sedikit ruang bagi siswa untuk menafsirkan grafik, membandingkan informasi, dan membangun argumen berbasis data.

Temuan-temuan terdahulu tersebut memberi alasan praktis untuk merancang pembelajaran yang mengaktifkan penalaran siswa. Akan tetapi, angka dari penelitian berbeda tidak dapat diberlakukan sebagai titik awal yang langsung setara dengan sampel penelitian ini karena konteks, instrumen, dan karakteristik peserta didiknya mungkin berbeda. Posisi kajian tersebut adalah menegaskan urgensi pembelajaran yang menyediakan kesempatan menguji bukti serta menyusun argumen, bukan sebagai pembanding kuantitatif langsung terhadap skor penelitian sekarang. Pendekatan pembelajaran mendalam *(deep learning)* menekankan pengalaman belajar *mindful*, *meaningful*, dan *joyful*. Multipel representasi memungkinkan konsep dikaji melalui teks, grafik, tabel, video, dan fenomena nyata (Ainsworth, 2006). Sementara itu, isu sosiosaintifik *(socio-scientific issues/SSI)* menempatkan persoalan yang melibatkan sains dan masyarakat sebagai konteks diskusi, evaluasi bukti, dan pengambilan keputusan (Zeidler & Nichols, 2009; Viehmann *et al*., 2024). Integrasi ketiganya diperkirakan memberikan pengalaman belajar yang lebih reflektif dan kontekstual.

Pembelajaran mendalam dalam penelitian ini dipahami sebagai pendekatan pedagogis yang mengarahkan siswa pada keterlibatan sadar *(mindful),* kebermaknaan konseptual dan kontekstual *(meaningful),* serta pengalaman belajar yang mendukung partisipasi *(joyful)*. Istilah ini tidak merujuk pada pembelajaran mesin berbasis jaringan saraf. Ketiga prinsipnya diwujudkan dalam tugas yang menuntut pengamatan cermat, penjelasan hubungan sebab-akibat, diskusi antarsudut pandang, dan refleksi terhadap pilihan tindakan. Pemaknaan ini konsisten dengan tuntutan agar pemahaman tidak berhenti pada hafalan, tetapi dapat diterapkan pada persoalan lingkungan.

Multipel representasi berfungsi sebagai perangkat epistemik: satu fenomena dapat ditampilkan melalui narasi, tabel, grafik, citra, diagram, atau video. Perpindahan antarrepresentasi memberi kesempatan menguji apakah penjelasan verbal sesuai dengan pola data dan apakah kesimpulan ditopang oleh bukti yang relevan. Kerangka DeFT Ainsworth (2006) menekankan bahwa berbagai representasi dapat melengkapi informasi, membatasi salah tafsir, serta membantu pengembangan pemahaman yang lebih mendalam. Namun, banyaknya representasi semata tidak menjamin keberhasilan; guru perlu memberi pertanyaan penuntun agar siswa membandingkan dan mengintegrasikan informasinya.

Isu sosiosaintifik atau *socio-scientific issues* (SSI) memasukkan permasalahan yang berakar pada sains tetapi memiliki implikasi sosial, ekonomi, moral, dan kebijakan publik. Dalam kasus degradasi ekosistem, siswa dapat dihadapkan pada ketegangan antara kegiatan ekonomi, kesejahteraan masyarakat, dan pelestarian lingkungan. SSI tidak berarti semua pandangan ilmiah setara; klaim faktual tetap harus diperiksa dengan bukti, sementara pilihan kebijakan dapat mempertimbangkan nilai dan kepentingan yang berbeda. Kajian Viehmann *et al*. (2024) dan Zeidler dan Nichols (2009) mendukung penggunaan SSI sebagai konteks argumentasi dalam pendidikan sains.

Penelitian ini bertujuan membandingkan peningkatan keterampilan berpikir kritis antara siswa yang mengikuti pembelajaran mendalam berbasis multipel representasi dan SSI dengan siswa yang mengikuti pembelajaran konvensional, serta mengukur besarnya efek pembelajaran. Dimensi rasional, humanistik, religius, dan inklusif dipakai sebagai lensa analisis pendukung kualitas argumentasi, bukan sebagai variabel utama penelitian.

METODE

Penelitian kuasi-eksperimen menggunakan *nonequivalent control group design* dilaksanakan di SMA Negeri 8 Semarang pada semester genap tahun ajaran 2025/2026. Sampel dipilih melalui *purposive sampling*, melibatkan kelas X.6 (eksperimen, n = 32) dan X.7 (kontrol, n = 32). Kedua kelas diajar guru yang sama dengan materi degradasi ekosistem. Perlakuan dilakukan dalam dua pertemuan, masing-masing 3 x 45 menit.

Desain *nonequivalent control group* menempatkan dua kelas yang sudah terbentuk sebagai kelompok pembanding. Oleh karena itu, penetapan kelas secara purposif tidak dapat dianggap sebagai randomisasi individual. Penggunaan guru, pokok bahasan, dan waktu pembelajaran yang sama merupakan upaya menjaga keterbandingan perlakuan, tetapi perbedaan tidak terukur antar kelas tetap mungkin mempengaruhi hasil. Unit pengelompokan yang berupa kelas juga penting diperhatikan saat menafsirkan analisis statistik berbasis skor individu.

Intervensi berlangsung dua pertemuan untuk masing-masing kelas, masing-masing selama 3 x 45 menit. Kelompok kontrol menerima pembelajaran konvensional berupa ceramah, tanya jawab, dan latihan, sedangkan kelompok eksperimen menjalankan rangkaian analisis sumber, diskusi, argumentasi, dan refleksi. Lama pelaksanaan yang relatif singkat relevan untuk menafsirkan peningkatan skor sebagai capaian setelah perlakuan dalam konteks pembelajaran ini, bukan bukti retensi keterampilan dalam jangka panjang.

Kelompok eksperimen mempelajari fenomena degradasi ekosistem melalui video, infografik, data deforestasi, dan berita; menganalisis persoalan SSI dalam diskusi multiperspektif; lalu menyusun solusi dan refleksi. Alur kegiatan meliputi pendahuluan (15 menit), eksplorasi masalah analisis dan argumentasi refleksi dan solusi (90 menit), serta penutup (30 menit). Kelompok kontrol mengikuti ceramah, tanya jawab, dan latihan.

Kegiatan pembelajaran eksperimen dirancang dalam tahap pendahuluan sekitar 15 menit, kegiatan inti 90 menit, dan penutup 30 menit. Pendahuluan menggunakan video atau infografik masalah lingkungan serta *pretest* di awal pembelajaran. Kegiatan inti terdiri atas eksplorasi masalah menggunakan representasi yang bervariasi; analisis dan argumentasi isu sosiosaintifik dari berbagai perspektif; kemudian refleksi serta perumusan solusi. Tahap penutup mencakup *posttest* dan refleksi individu. Rangkaian ini menempatkan grafik deforestasi, berita, video dokumenter, dan bahan refleksi nilai sebagai sumber yang perlu ditafsirkan, bukan sekadar ilustrasi dekoratif.

Pada tahap eksplorasi, siswa mengidentifikasi fenomena dan mengklarifikasi pertanyaan yang harus dijawab. Tahap analisis menuntut pemeriksaan bukti, pembandingan penjelasan, dan penalaran terhadap dampak pada berbagai pihak. Tahap refleksi memfasilitasi inferensi, evaluasi alternatif, dan perumusan strategi. Pemetaan aktivitas ini sejalan dengan kelompok indikator Ennis (1991), meskipun penelitian tidak dirancang untuk memisahkan pengaruh masing-masing unsur perlakuan secara eksperimental.

Keterampilan berpikir kritis diukur dengan 10 soal esai yang mencakup lima indikator Ennis (1991): *elementary clarification*, *basic support*, *inference*, *advanced clarification*, serta *strategies and tactics*. Validitas isi ditelaah ahli pendidikan biologi; reliabilitas instrumen sebesar $\alpha = 0{,}86$. Data *pretest* dan *posttest* dianalisis secara deskriptif, menggunakan N-gain, uji t sampel independen setelah pemeriksaan asumsi, dan Cohen's d. Kualitas argumentasi pada butir 7 dianalisis secara pendukung berdasarkan empat dimensi nilai.

Instrumen terdiri atas 10 butir soal esai yang digunakan pada *pretest* dan *posttest*. Butir 1–2 mengukur *elementary clarification*, butir 3–4 *basic support*, butir 5–6 *inference*, butir 7–8 *advanced clarification*, dan butir 9–10 *strategies and tactics*. Validasi dilakukan oleh ahli pendidikan biologi dengan memperhatikan kecocokan isi, indikator, konteks isu, dan kejelasan bahasa. Reliabilitas internal dilaporkan dengan koefisien Cronbach's alpha sebesar 0,86. Angka tersebut mendukung konsistensi internal instrumen, tetapi bukan dengan sendirinya bukti bahwa semua sumber kesalahan pengukuran telah dihilangkan.

Analisis menggunakan statistik deskriptif, *normalized gain* (N-gain), uji t dua sampel independen, dan ukuran efek Cohen's d. Pengujian prasyarat normalitas dan homogenitas dilakukan sebelum uji hipotesis; nilai statistik normalitas terinci tidak tersedia dalam naskah sumber sehingga tidak direkonstruksi. Uji t dilaporkan terhadap skor *posttest* antar kelompok. Oleh sebab itu, hasil inferensialnya secara tepat menunjukkan perbedaan skor akhir, sedangkan perbedaan besarnya peningkatan dijelaskan melalui perubahan rerata dan N-gain. Analisis dimensi nilai dilakukan pada tanggapan terhadap butir argumentasi nomor 7 dengan skala 1–4.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Skor Keterampilan Berpikir Kritis

Kelompok eksperimen mengalami peningkatan rerata 23,60 poin, sedangkan kelompok kontrol 7,03 poin. Meskipun rentang skor kedua kelompok saling tumpang tindih, kenaikan rerata pada kelompok eksperimen lebih besar. Analisis indikator pada pascates memperlihatkan keunggulan kelompok eksperimen pada seluruh aspek berpikir kritis.

Berdasarkan statistik deskriptif, skor terendah *pretest* kelompok eksperimen adalah 50,00 dan skor tertinggi 75,00; pada *posttest* menjadi 72,50 dan 100,00. Pada kelompok kontrol, rentang skor *pretest* adalah 40,00–72,50 dan *posttest* 47,50–80,00. Perubahan rentang tersebut mendukung kecenderungan peningkatan performa, namun tidak cukup untuk menyimpulkan seluruh individu meningkat karena tabel hanya melaporkan nilai minimum, maksimum, dan rerata, bukan pasangan perubahan skor setiap siswa.

Tabel 1. Statistik deskriptif skor *pretest* dan *posttest*

Kelompok	Tes	Minimum	Maksimum	Rerata
Eksperimen	*Pretest*	50,0	75,0	61,71
Eksperimen	*Posttest*	72,5	100,0	85,31
Kontrol	*Pretest*	40,0	72,5	59,84
Kontrol	*Posttest*	47,5	80,0	66,87

Rerata awal kedua kelompok relatif berdekatan, yakni 61,71 pada kelas eksperimen dan 59,84 pada kontrol, dengan selisih 1,87 poin. Setelah pembelajaran, selisih rerata menjadi 18,44 poin (85,31 berbanding 66,87). Kenaikan absolut rerata 23,60 poin pada kelompok eksperimen lebih besar daripada 7,03 poin pada kontrol. Kedekatan nilai awal bermanfaat secara deskriptif, tetapi tidak menggantikan pengendalian kemampuan awal melalui analisis kovariat apabila tujuan penelitian lanjutan adalah memperkirakan efek kausal yang lebih kuat.

Tabel 2. Rerata skor *posttest* keterampilan berpikir kritis

Indikator	Kontrol	Eksperimen
Elementary clarification	2,44	3,08
Basic support	2,66	3,22
Inference	2,43	3,39
Advanced clarification	2,69	3,56
Strategies and tactics	3,16	3,81

Peluang membaca dan membandingkan representasi dapat membantu siswa menguji konsistensi informasi, sedangkan diskusi SSI memberi ruang bagi pertimbangan dampak ekologis, sosial, dan alternatif kebijakan. Namun, rancangan penelitian tidak memungkinkan pemisahan kontribusi kausal masing-masing komponen pembelajaran.

Pola menurut indikator menunjukkan bahwa skor *posttest* kelompok eksperimen lebih tinggi pada seluruh indikator: *elementary clarification* 3,08 berbanding 2,44; *basic support* 3,22 berbanding 2,66; *inference* 3,39 berbanding 2,43; *advanced clarification* 3,56 berbanding 2,69; dan *strategies and tactics* 3,81 berbanding 3,16. Selisih terbesar secara deskriptif muncul pada *inference* (0,96), sedangkan selisih terkecil pada *basic support* (0,56). Karena yang tersedia hanya rerata *posttest* per kelompok indikator dan bukan uji inferensial setiap indikator, pola ini dibaca sebagai deskripsi capaian, bukan bukti signifikansi statistik pada masing-masing indikator.

Keterampilan inferensi secara konseptual dapat terbantu ketika siswa harus menarik kesimpulan dari beberapa bentuk informasi yang tidak selalu sejalan. Sementara itu, *advanced clarification* dapat dilatih melalui permintaan menjelaskan asumsi dan membedakan klaim normatif dari klaim berbasis data. Nilai *strategies and tactics* yang relatif tinggi pada kelompok eksperimen menunjukkan capaian baik pada tugas menentukan alternatif, tetapi skor tinggi tersebut tidak membuktikan bahwa siswa akan menjalankan strategi konservasi dalam kehidupan sehari-hari. Pengujian perilaku aktual memerlukan indikator dan rancangan pengukuran tersendiri.

Uji Perbedaan, N-gain, dan Ukuran Efek

Nilai Levene 0,213 mendukung penggunaan asumsi varians homogen pada uji t. Perbedaan skor *posttest* signifikan secara statistik ($p < 0,001$). N-gain kelompok eksperimen termasuk kategori sedang, belum mencapai kriteria awal 0,70 yang ditetapkan dalam penelitian asal. Cohen's d sebesar 2,48 menunjukkan perbedaan terstandar yang besar pada skor *posttest*. Ukuran efek ini tidak dengan sendirinya membuktikan besarnya peningkatan individual yang sepenuhnya disebabkan perlakuan, mengingat desain kuasi-eksperimen.

Uji t dua sampel independen pada skor pascates menghasilkan t= -9,945, derajat kebebasan 62, dan $p < 0,001$, dengan selisih rerata tercatat -18,4375 sesuai urutan pengurangan yang digunakan pada keluaran analisis sumber. Arah tanda negatif bergantung pada urutan kelompok yang dibandingkan dan tidak mengubah kesimpulan adanya perbedaan skor. Uji Levene p= 0,213 tidak memberikan bukti kuat untuk menolak asumsi kesamaan varians, sehingga keluaran *equal variances assumed* digunakan. Namun, homogenitas varians bukan bukti kesetaraan seluruh karakteristik awal kelompok.

Tabel 3. Ringkasan uji t dan uji N-Gain

Ukuran	Hasil
Levene's Sig.	0,213
Uji t independen	$t = -9,945$; $df = 62$; $p < 0,001$
Selisih rerata (kontrol − eksperimen)	−18,4375
N-gain eksperimen	0,61 (sedang)
N-gain kontrol	0,16 (rendah)
Cohen's d (pascates)	2,48 (efek besar)

Nilai N-gain kelompok eksperimen sebesar 0,61 tergolong sedang, sedangkan kelompok kontrol 0,16 tergolong rendah. Ini menunjukkan bahwa peningkatan relatif terhadap peluang peningkatan skor pada kelompok eksperimen lebih besar. Secara khusus, batas keberhasilan awal N-gain ≥ 0,70 yang tercantum pada artikel sumber belum tercapai; klaim bahwa perlakuan memenuhi seluruh kriteria efektivitas awal dengan demikian tidak tepat. Penilaian keberhasilan harus membedakan peningkatan yang lebih baik dibanding kontrol dari pencapaian ambang yang telah ditetapkan.

Cohen's d sebesar 2,48 diklasifikasikan sebagai efek besar berdasarkan perbandingan skor *posttest*. Ukuran efek mengungkap besarnya selisih terstandar, berbeda dari nilai p yang terutama berhubungan dengan kekuatan bukti terhadap hipotesis nol. Besaran d yang sangat besar perlu dibaca dalam konteks jumlah kelas yang terbatas, perlakuan singkat, dan penggunaan butir soal sama pada dua waktu pengukuran. Tanpa pengacakan atau pengendalian kovariat kemampuan awal, estimasi tersebut tidak dapat serta-merta digeneralisasikan sebagai efek kausal yang sama pada sekolah atau populasi lain.

Kualitas Argumentasi Multidimensi

Analisis jawaban butir 7 menunjukkan bahwa argumentasi kelompok eksperimen cenderung lebih baik pada keempat dimensi. Dimensi humanistik memiliki rerata tertinggi (3,56), diikuti rasional (3,50), inklusif (3,41), dan religius (3,25). Dimensi ini digunakan untuk menggambarkan kualitas argumen, bukan sebagai indikator baku tambahan pada konstruk berpikir kritis Ennis. Contoh jawaban siswa dalam penelitian asal menghubungkan deforestasi dengan hilangnya biodiversitas, risiko bencana, keadilan antargenerasi, tanggung jawab moral, dan kepentingan pemangku kebijakan; argumen tersebut masih memerlukan dukungan data empiris yang lebih spesifik.

Tabel 4. Rerata argumentasi menurut dimensi nilai

Dimensi	Eksperimen	Kontrol
Rasional	3,50 (sangat tinggi)	2,25 (rendah)
Humanistik	3,56 (sangat tinggi)	2,00 (rendah)
Religius	3,25 (tinggi)	2,16 (rendah)
Inklusif	3,41 (sangat tinggi)	2,22 (rendah)

Rerata dimensi humanistik kelompok eksperimen 3,56, rasional 3,50, inklusif 3,41, dan religius 3,25. Kelompok kontrol berturut-turut memperoleh 2,00; 2,25; 2,22; dan 2,16. Berdasarkan interval yang digunakan sumber, skor 3,26–4,00 termasuk sangat tinggi, 2,51–3,25 tinggi, 1,76–2,50 rendah, dan 1,00–1,75 sangat rendah. Dengan demikian, nilai religius 3,25 berada dalam kategori tinggi, bukan sangat tinggi. Penggunaan batas interval yang konsisten penting karena perbedaan 0,01 pada ambang kategori dapat memengaruhi label interpretasi.

Dimensi rasional menekankan koherensi argumentasi dan keterkaitan klaim dengan bukti ekologis. Dimensi humanistik menyoroti akibat kerusakan ekosistem terhadap kesejahteraan dan hak masyarakat. Dimensi religius memuat tanggung jawab moral menjaga alam, sedangkan dimensi inklusif mengharuskan pertimbangan kepentingan berbagai pemangku kepentingan. Pemisahan keempat lensa ini membantu menjelaskan kualitas tanggapan siswa tanpa menjadikan identitas keyakinan atau preferensi nilai tertentu sebagai pengganti penilaian kemampuan berpikir kritis.

Contoh jawaban siswa pada naskah sumber membahas perusakan hutan yang mengganggu biodiversitas, meningkatkan emisi, dan memunculkan risiko banjir serta tanah longsor. Jawaban tersebut juga menghubungkan konsekuensi ekologis dengan kebutuhan ekonomi masyarakat, hak antargenerasi, tanggung jawab moral, dan perlunya kolaborasi pemerintah, warga, serta pelaku usaha. Contoh ini memperlihatkan keluasan cakupan argumentasi, tetapi masih perlu diperkuat dengan data empiris khusus dan rujukan yang lebih eksplisit. Artinya, kemampuan mengintegrasikan perspektif tidak otomatis identik dengan ketepatan seluruh klaim.

Implikasi dan Keterbatasan

Integrasi pembelajaran mendalam, multipel representasi, dan SSI menyediakan rancangan pedagogis untuk menghubungkan bukti ekologis dengan pengambilan keputusan yang mempertimbangkan kepentingan masyarakat. Temuan ini relevan untuk pengembangan pembelajaran biologi yang mengutamakan literasi sains, penalaran, dan kepedulian lingkungan. Keterbatasan mencakup pemilihan kelas utuh tanpa randomisasi, perlakuan singkat, serta penggunaan butir tes yang sama pada *pretest* dan *posttest*. Penelitian lanjutan perlu menggunakan instrumen paralel, intervensi lebih panjang, dan analisis yang mengendalikan kemampuan awal.

Secara pedagogis, rancangan penelitian mengisyaratkan tiga prinsip implementasi. Pertama, guru sebaiknya memilih representasi yang memiliki fungsi informasi berbeda dan menyediakan panduan membaca skala grafik, memeriksa asal data, serta membandingkan antarsumber. Kedua, diskusi SSI perlu dibingkai dengan pertanyaan terbuka yang menuntut alasan dan bukti, sekaligus membedakan fakta ilmiah dari pilihan nilai. Ketiga, refleksi perlu diarahkan pada revisi argumen setelah menerima informasi atau sudut pandang baru, bukan sekadar pernyataan setuju terhadap pelestarian lingkungan.

Secara teoretis, representasi menyediakan bahan untuk penalaran, SSI memberi alasan mengapa penalaran itu diperlukan dalam keputusan sosial, dan pembelajaran mendalam mengorganisasi pengalaman menjadi rangkaian eksplorasi, analisis, serta refleksi. Ketiganya dapat dipandang saling melengkapi. Namun, karena komponen diterapkan bersamaan dan tidak disediakan kelompok perlakuan terpisah untuk masing-masing komponen, penelitian ini belum dapat mengestimasi kontribusi unik multipel representasi, SSI, atau pembelajaran mendalam terhadap besarnya peningkatan.

Keterbatasan lain adalah dua kelas berasal dari satu sekolah, pemilihan sampel purposif, intervensi hanya dua pertemuan, serta penggunaan soal *pretest* dan *posttest* identik yang memungkinkan efek pengulangan. Analisis uji t individual pada peserta yang terkelompok dalam kelas juga menuntut kehati-hatian karena asumsi independensi observasi mungkin tidak sepenuhnya terpenuhi. Penelitian berikutnya dapat melibatkan lebih banyak kelas dan sekolah, memperpanjang intervensi, menggunakan bentuk tes paralel, serta menerapkan analisis yang memperhitungkan

pengelompokan peserta dan skor awal. Penilaian keberlanjutan perilaku konservasi perlu dibedakan dari penilaian keterampilan argumentasi.

SIMPULAN

Pembelajaran mendalam berbasis multipel representasi dan isu sosiosaintifik menghasilkan peningkatan keterampilan berpikir kritis yang lebih besar daripada pembelajaran kontrol pada materi degradasi ekosistem. Rerata eksperimen meningkat dari 61,71 menjadi 85,31 (N-gain 0,61), sedangkan kontrol dari 59,84 menjadi 66,87 (N-gain 0,16). Perbedaan pascates signifikan ($p < 0,001$) dengan ukuran efek besar ($d = 2,48$). Analisis pendukung juga menunjukkan argumentasi rasional, humanistik, religius, dan inklusif yang lebih tinggi pada kelompok eksperimen. Generalisasi temuan dibatasi oleh desain dan durasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction, 16*(3), 183–198. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001

Amanati, A. Y., Wasis, & Ibrahim, M. (2019). The effectiveness of learning instrument of multiple representations-based inquiry model to train critical thinking skills in physics lesson. *JPPS (Jurnal Penelitian Pendidikan Sains), 9*(1), 1772–1776. https://doi.org/10.26740/jpps.v9n1.p1772-1776

Andayanie, L. M., Adhantoro, M. S., Purnomo, E., Kurniaji, G. T., & Jufriansah, A. (2025). Implementation of deep learning in education: Towards mindful, meaningful, and joyful learning experiences. *Journal of Deep Learning, 1*(1), 47–56. https://doi.org/10.23917/jdl.v1i1.11157

Anggrayni, M., Asmaryadi, A. I., & Susilawati, W. O. (2025). Development of deep learning-based instructional module for enhancing critical thinking in Pancasila learning. *Jurnal Kependidikan, 11*(3), 1005–1018. https://doi.org/10.33394/jk.v11i3.16794

Biggs, J. B. (2003). *Teaching for quality learning at university: What the student does* (2nd ed.). Society for Research into Higher Education & Open University Press.

Ennis, R. H. (1991). Critical thinking: A streamlined conception. *Teaching Philosophy, 14*(1), 5–24. https://doi.org/10.5840/teachphil19911412

García-Carmona, A. (2025). Scientific thinking and critical thinking in science education: Two distinct but symbiotically related intellectual processes. *Science & Education, 34*(1), 227–245. https://doi.org/10.1007/s11191-023-00460-5

Harahap, L. J., Komala, R., & Ristanto, R. H. (2020). Assesing critical thinking skills and mastery concepts: The case of ecosystem. *EDUSAINS, 12*(2), 223–232. https://doi.org/10.15408/es.v12i2.16544

Hedges, L. V. (2025). Interpretation of the standardized mean difference effect size when distributions are not normal or homoscedastic. *Educational and Psychological Measurement, 85*(2), 245–257. https://doi.org/10.1177/00131644241278928

Jasmansyah, J., Suganda, A., Hidayat, U. S., Sanjaya, A. S., & Widaningsih, W. (2025). A study of deep learning approach in Islamic education and Western education perspective: A literature review. In A. Hendriyanto, S. Pahmi, L. H. Muhaimin, & M. P. S. Hattamurrahman (Eds.), *Proceedings of the 5th International Conference on Education, Humanities, and Social Science—Japan Series (ICEHoS 2025)* (pp. 93–108). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-2-38476-450-1_7

Nubita, A. R., & Istianah, F. (2024). Pengaruh pembelajaran berbasis socio scientific issues terhadap kemampuan berpikir kritis siswa kelas V sekolah dasar. *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar, 12*(4), 707–716. https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-penelitian-pgsd/article/view/60500

Rahmawati, Y., Mu'ti, A., Suyanto, S., & Herianingtyas, N. L. R. (2025). Pembelajaran mendalam: Transformasi pembelajaran menuju pendidikan bermutu. *Jurnal Penelitian Kebijakan Pendidikan, 18*(1). https://doi.org/10.24832/jpkp.v18i1.1281

Salam, H., Kariadinata, R., & Chusni, M. M. (2026). The effectiveness of inquiry-based learning with a deep learning approach on critical thinking skills of 8th grade junior high school

students. *International Journal of Science, Technology and Applications, 3*(2), 58–66. https://doi.org/10.70115/ijsta.v3i2.378

Santia, R., & Hidayati, N. (2024). Profil keterampilan berpikir kritis dalam pembelajaran biologi siswa kelas XI. *Bio-Pedagogi: Jurnal Pembelajaran Biologi, 13*(2), 78–84. https://doi.org/10.20961/bio-pedagogi.v13i2.88152

Seviardini, S., Faradita, M. N., & Naila, I. (2026). Pengaruh pendekatan deep learning terhadap kemampuan berpikir kritis peserta didik pada pembelajaran IPAS sekolah dasar. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar, 11*(1), 20–33. https://doi.org/10.23969/jp.v11i01.40949

Viehmann, C., Fernández Cárdenas, J. M., & Reynaga Peña, C. G. (2024). The use of socioscientific issues in science lessons: A scoping review. *Sustainability, 16*(14), Article 5827. https://doi.org/10.3390/su16145827

Zeidler, D. L., & Nichols, B. H. (2009). Socioscientific issues: Theory and practice. *Journal of Elementary Science Education, 21*(2), 49–58.