

Pendekatan Deep Learning Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMA Dalam Pembelajaran Biologi

Diah Ayu Nur Aviani^{1*}, Silvia Anggraini², Susan Adinda Saputri³

^{1,2,3} Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Riau

*Author Correspondence. Email : diah.ayu6964@student.unri.ac.id

<i>Informasi Artikel</i>	<i>Abstract</i>
<p>Kata Kunci: Berpikir Kritis, Deep Learning, Pembelajaran Biologi</p>	<p>Kemampuan berpikir kritis siswa SMA dalam pembelajaran biologi masih tergolong sedang hingga rendah, terutama ketika pembelajaran didominasi oleh hafalan. Kondisi ini menunjukkan perlunya pendekatan yang mendorong keterlibatan kognitif tingkat tinggi. Deep learning dalam penelitian ini merujuk pada pendekatan pembelajaran yang menekankan pemahaman konseptual, keterkaitan antar konsep, dan refleksi berpikir, bukan teknologi kecerdasan buatan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pendekatan deep learning terhadap kemampuan berpikir kritis siswa SMA. Penelitian menggunakan metode meta-analisis terhadap 20 artikel eksperimen dan quasi-eksperimen tahun 2020–2026 yang diperoleh dari Google Scholar, ScienceDirect, ERIC, dan DOAJ. Artikel dipilih berdasarkan kesesuaian variabel, subjek siswa SMA, dan ketersediaan data kuantitatif. Analisis dilakukan menggunakan effect size serta mempertimbangkan variabel moderator. Hasil menunjukkan bahwa deep learning memberikan pengaruh kuat terhadap kemampuan berpikir kritis, dengan nilai effect size rata-rata sebesar $\pm 1,35$ yang termasuk dalam kategori tinggi hingga sangat tinggi. Efektivitas tertinggi ditemukan pada siswa kelas XI ($\Delta = 1,48$) dan pada materi biologi yang kompleks seperti sistem ekskresi ($\Delta = 1,52$). Model pembelajaran seperti problem-based learning ($\Delta = 1,42$) dan inquiry learning ($\Delta = 1,37$) terbukti paling efektif dalam mendukung pendekatan deep learning. Kesimpulan menegaskan bahwa deep learning berpengaruh signifikan dalam meningkatkan berpikir kritis siswa SMA. Kebaruan penelitian terletak pada sintesis kuantitatif yang mengintegrasikan berbagai temuan serta mengidentifikasi faktor moderator. Implikasi praktis menunjukkan bahwa guru perlu menerapkan pembelajaran berbasis eksplorasi, diskusi, dan refleksi untuk mengoptimalkan kemampuan berpikir kritis.</p>
<p>Article Info</p> <p>Keywords: Critical Thinking, Deep Learning, Biology Learning</p>	<p><i>High school students' critical thinking skills in biology learning are still classified as moderate to low, especially when learning is dominated by memorization. This condition indicates the need for an approach that encourages high-level cognitive engagement. Deep learning in this study refers to a learning approach that emphasizes conceptual understanding, interconnectedness between concepts, and reflective thinking, rather than artificial intelligence technology. This study aims to analyze the effect of the deep learning approach on high school students' critical thinking skills. The study used a meta-analysis method on 20 experimental and quasi-experimental articles from 2020–2026 obtained from Google Scholar, ScienceDirect, ERIC, and DOAJ. Articles were selected based on the suitability of the variables, high school student subjects, and the availability of quantitative data. The analysis was conducted using effect size and considering moderator variables. The results show that deep learning has a strong influence on critical thinking skills, with an average effect size value of ± 1.35, which is included in the high to very high category. The highest effectiveness was found in grade 11 students ($\Delta = 1.48$) and on complex biology material such as the excretory system ($\Delta = 1.52$). Learning models such as problem-based learning ($\Delta = 1.42$) and inquiry learning ($\Delta = 1.37$) proved most effective in supporting the deep learning approach. The conclusion confirms that deep learning has a significant effect on improving high school students' critical thinking. The novelty of this research lies in the quantitative synthesis that integrates various findings and identifies moderating factors. Practical implications suggest that teachers need to implement exploration, discussion-, and reflection-based learning to optimize critical thinking skills.</i></p>

1. PENDAHULUAN

Pendekatan deep learning dalam pembelajaran biologi di SMA semakin relevan dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21 yang menekankan kemampuan berpikir kritis sebagai kecakapan esensial yang harus dikuasai siswa, seiring dengan percepatan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang menuntut kemampuan analisis, evaluasi, dan sintesis informasi secara mandiri serta mengaitkan pengetahuan dengan konteks kehidupan nyata (Wardani, 2026). Studi empiris menunjukkan bahwa kemampuan berpikir kritis siswa SMA dalam pembelajaran biologi masih berada pada kategori sedang hingga rendah, terutama pada aspek evaluasi dan inferensi, ketika proses pembelajaran masih didominasi penyampaian materi berbasis hafalan (Fitriani et al., 2020). Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan yang signifikan antara tuntutan kompetensi abad ke-21 dengan kualitas pembelajaran yang terjadi di kelas, yang belum mampu mendorong keterlibatan kognitif tingkat tinggi secara optimal.

Pengembangan berpikir kritis berakar pada teori konstruktivisme yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun secara aktif melalui pengalaman belajar yang bermakna. Pendekatan deep learning dalam penelitian ini didefinisikan secara operasional sebagai proses pembelajaran yang mendorong siswa untuk memahami konsep secara mendalam, mengaitkan antar konsep, merefleksikan proses berpikir, serta mengaplikasikan pengetahuan dalam konteks nyata. Kemampuan berpikir kritis dioperasionalkan melalui indikator kognitif tingkat tinggi (C4–C6), yaitu analisis, evaluasi, dan kreasi (Nana & Brenya, 2024).

Pendekatan pembelajaran yang tidak melibatkan aktivitas kognitif tingkat tinggi cenderung menghasilkan pemahaman dangkal (*surface learning*), sehingga siswa mengalami kesulitan dalam mengaplikasikan konsep secara kontekstual. Penerapan pendekatan deep learning memberikan ruang bagi siswa untuk mengeksplorasi konsep, mengajukan pertanyaan, dan melakukan refleksi, yang secara langsung melatih keterampilan berpikir kritis (Alfiyana et al., 2026). Sejumlah penelitian melaporkan bahwa implementasi deep learning melalui model *problem-based learning* dan *inquiry learning* mampu meningkatkan kemampuan analisis, evaluasi, dan sintesis siswa. Temuan tersebut menunjukkan adanya potensi positif, namun hasil penelitian masih bervariasi dalam besaran pengaruhnya.

Variasi hasil penelitian menunjukkan adanya inkonsistensi temuan empiris serta mengindikasikan bahwa efektivitas pendekatan deep learning dipengaruhi oleh faktor kontekstual seperti tingkat kelas, karakteristik materi, dan model pembelajaran yang digunakan (Fitriani et al., 2020). Keterbatasan lain terletak pada belum adanya sintesis

kuantitatif yang mengintegrasikan hasil penelitian secara komprehensif untuk menentukan kekuatan pengaruh pendekatan tersebut secara terstandar. Kondisi ini menunjukkan adanya celah penelitian yang perlu diatasi melalui pendekatan yang lebih sistematis.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan metode meta-analisis untuk mensintesis hasil penelitian terbaru secara kuantitatif guna menentukan konsistensi dan besaran efek pendekatan deep learning terhadap kemampuan berpikir kritis siswa SMA dalam pembelajaran biologi, sekaligus mengidentifikasi faktor-faktor moderator yang memengaruhi efektivitasnya (Ardhana, et al., 2025). Pendekatan ini memberikan estimasi efek yang lebih objektif dibandingkan penelitian individual yang cenderung menghasilkan temuan yang beragam.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan meta-analisis untuk mensintesis hasil penelitian secara kuantitatif guna menentukan konsistensi dan besaran efek pendekatan deep learning terhadap kemampuan berpikir kritis siswa SMA dalam pembelajaran biologi serta mengidentifikasi faktor moderator yang memengaruhinya. Berdasarkan kerangka teoretis dan temuan empiris, penelitian ini mengajukan hipotesis bahwa pendekatan deep learning berpengaruh signifikan dengan kategori tinggi terhadap kemampuan berpikir kritis siswa. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi teoretis dalam memperkuat hubungan antara deep learning dan berpikir kritis, serta kontribusi praktis sebagai dasar bagi guru dalam merancang pembelajaran biologi yang lebih efektif dan berorientasi pada keterampilan berpikir tingkat tinggi. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis besaran efek pendekatan deep learning serta faktor-faktor yang memoderasi efektivitasnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kemampuan berpikir kritis merupakan kompetensi kognitif tingkat tinggi yang menjadi fokus utama dalam pembelajaran abad ke-21. Berpikir kritis adalah proses reflektif dan rasional dalam menentukan keputusan terhadap suatu masalah (Ennis, 2011). Dalam konteks pembelajaran biologi, kemampuan ini tidak hanya berkaitan dengan pemahaman konsep, tetapi juga kemampuan menghubungkan antar konsep, mengevaluasi bukti ilmiah, dan menyusun argumen berbasis data. menunjukkan bahwa kemampuan berpikir kritis siswa SMA masih berada pada kategori sedang hingga rendah, terutama pada indikator evaluasi dan inferensi (Fitriani et al., 2020). Secara operasional, kemampuan berpikir kritis dalam penelitian ini diukur melalui indikator kognitif tingkat tinggi (C4–C6), yaitu analisis, evaluasi, dan kreasi yang mengacu pada Taksonomi Bloom revisi (Kasanah et al., 2026).

Pengembangan kemampuan berpikir kritis berkaitan erat dengan pendekatan pembelajaran yang digunakan. Teori konstruktivisme menegaskan bahwa pengetahuan dibangun secara aktif melalui interaksi dengan lingkungan dan pengalaman belajar yang bermakna (Dewi et al., 2025). Pendekatan deep learning dalam pendidikan merujuk pada proses pembelajaran yang menekankan pemahaman konseptual mendalam, keterkaitan antar konsep, serta refleksi metakognitif (Marton & Säljö, 1976; Biggs, 1987). Pendekatan ini berbeda dengan surface learning yang cenderung berorientasi pada hafalan dan reproduksi informasi. Dalam konteks pembelajaran biologi, deep learning memungkinkan siswa memahami sistem biologis secara holistik, sehingga mendukung terbentuknya kemampuan berpikir kritis.

Hubungan antara deep learning dan kemampuan berpikir kritis bersifat kausal-konseptual. Aktivitas dalam deep learning, seperti eksplorasi masalah, refleksi, dan pengintegrasian konsep, secara langsung melatih proses analisis, evaluasi, dan sintesis yang merupakan inti berpikir kritis (Gayatri, 2020). Model pembelajaran seperti problem-based learning (PBL) menekankan penyelesaian masalah autentik yang mendorong siswa mengidentifikasi, menganalisis, dan mengevaluasi informasi secara mandiri. Model inquiry learning berfokus pada proses ilmiah melalui perumusan pertanyaan, pengujian hipotesis, dan penarikan kesimpulan berbasis data. Model project-based learning (PjBL) menekankan pembuatan produk melalui integrasi pengetahuan dan keterampilan, sehingga mendorong pemikiran kritis dan kreatif secara simultan. Ketiga model tersebut memiliki kesamaan dalam mendorong keterlibatan kognitif aktif, namun berbeda dalam fokus aktivitas belajar, yang berpotensi memengaruhi tingkat efektivitas dalam mengembangkan berpikir kritis (Ardhana et al., 2025; Arifin, 2025).

Temuan empiris menunjukkan bahwa penerapan deep learning melalui berbagai model pembelajaran memberikan dampak positif terhadap kemampuan berpikir kritis siswa. Penelitian-penelitian sebelumnya melaporkan peningkatan pada indikator analisis, evaluasi, dan inferensi setelah penerapan PBL, inquiry, maupun PjBL. Variasi hasil penelitian menunjukkan bahwa besaran pengaruh yang dihasilkan tidak selalu konsisten, yang mengindikasikan adanya faktor moderator seperti tingkat kelas, kompleksitas materi, dan strategi pembelajaran yang digunakan. Kondisi ini menunjukkan bahwa hubungan antara deep learning dan berpikir kritis tidak bersifat linear sederhana, melainkan dipengaruhi oleh konteks pembelajaran (Fuadiyah et al., 2022; Santhosh et al., 2024).

Pendekatan meta-analisis digunakan untuk mengatasi keterbatasan tersebut dengan mensintesis hasil berbagai penelitian secara kuantitatif guna memperoleh estimasi efek yang lebih objektif dan terstandar (Glass, 1976; Retnawati, 2018). Dalam konteks penelitian ini, meta-analisis berperan untuk mengintegrasikan temuan empiris mengenai pengaruh deep learning terhadap kemampuan berpikir kritis serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memoderasi hubungan tersebut. Penggunaan meta-analisis menjadi penting karena mampu menjawab inkonsistensi hasil penelitian individual dan memberikan gambaran komprehensif mengenai kekuatan pengaruh yang sebenarnya (Retnawati, 2018).

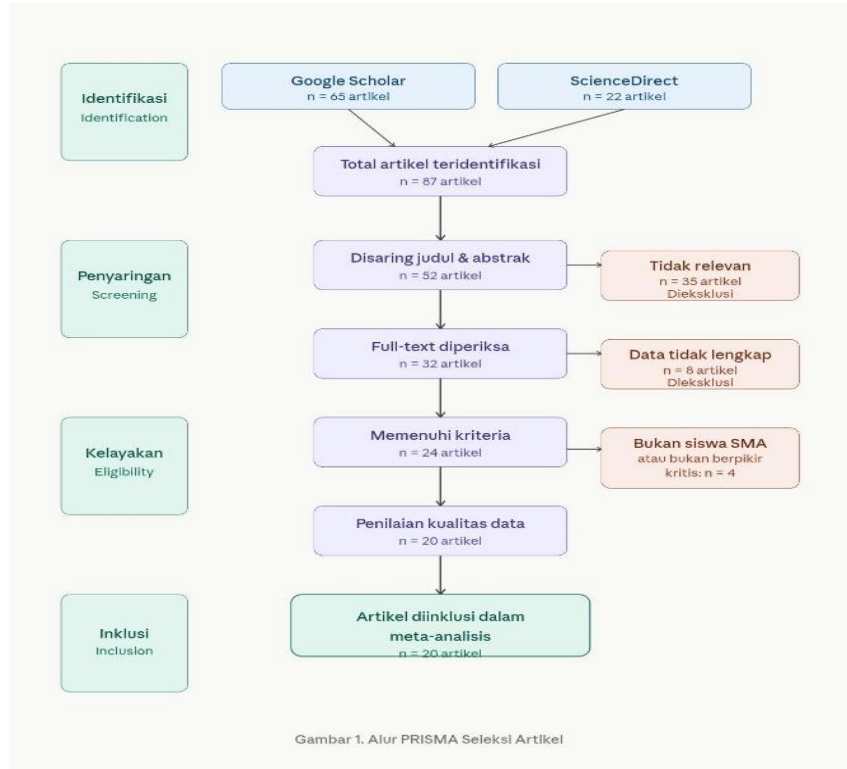
Sintesis kajian menunjukkan bahwa meskipun hubungan antara deep learning dan kemampuan berpikir kritis telah banyak diteliti, sebagian besar studi masih bersifat parsial dan kontekstual. Penelitian sebelumnya cenderung berfokus pada satu model pembelajaran atau satu konteks materi tertentu tanpa mengintegrasikan hasilnya secara menyeluruh. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan, yaitu belum tersedianya analisis kuantitatif komprehensif yang mengukur konsistensi dan besaran efek deep learning terhadap kemampuan berpikir kritis siswa SMA dalam pembelajaran biologi sekaligus mempertimbangkan faktor moderator yang memengaruhinya.

3. METODE

Penelitian ini menggunakan metode meta-analisis kuantitatif untuk mensintesis hasil penelitian terkait pengaruh pendekatan deep learning terhadap kemampuan berpikir kritis siswa SMA dalam pembelajaran biologi. Meta-analisis dipilih karena mampu mengintegrasikan temuan empiris dari berbagai studi untuk memperoleh estimasi efek yang lebih objektif dan terstandar. Fokus penelitian adalah menganalisis pengaruh pendekatan deep learning terhadap kemampuan berpikir kritis siswa SMA dalam pembelajaran biologi. Data diperoleh dari artikel jurnal ilmiah tahun 2020-2026 yang diakses melalui Google Scholar, ScienceDirect, ERIC, dan DOAJ dengan menggunakan kombinasi kata kunci operator Boolean sebagai berikut: ("deep learning" OR "deep learning approach") AND ("critical thinking" OR "higher order thinking") AND ("biology learning" OR "science education") AND ("high school" OR "secondary school").

Proses seleksi artikel mengikuti alur PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) yang meliputi tahap identifikasi, penyaringan, kelayakan, dan inklusi. Hasil pencarian awal memperoleh 87 artikel, kemudian diseleksi berdasarkan judul dan abstrak menjadi 52 artikel. Tahap kelayakan dilakukan melalui telaah teks lengkap hingga diperoleh 20 artikel yang memenuhi kriteria. Diagram alur

PRISMA disajikan dalam bentuk visual sesuai standar internasional. Alur seleksi artikel selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Alur PRISMA Seleksi Artikel

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria seleksi artikel disusun secara sistematis untuk menjamin kualitas data, sebagaimana disajikan pada Tabel berikut:

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi Artikel Meta-Analisis

Aspek	Kriteria
Inklusi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diterbitkan dalam jurnal ilmiah bereputasi (2020–2026) 2. Membahas penerapan pendekatan <i>deep learning</i> dalam pembelajaran biologi 3. Subjek penelitian adalah siswa SMA atau setara 4. Menyajikan data kuantitatif (nilai rata-rata dan standar deviasi) untuk perhitungan <i>effect size</i> 5. Mengukur kemampuan berpikir kritis sebagai variabel terikat
Eksklusi	<ol style="list-style-type: none"> 6. Tidak memuat data statistik lengkap (rata-rata dan SD) 7. Bersifat review, meta-analisis, atau konseptual tanpa data empiris primer 8. Tidak mengukur kemampuan berpikir kritis sebagai variabel terikat 9. Subjek penelitian bukan siswa SMA 10. Tidak dapat diakses secara lengkap melalui basis data yang tersedia

Hasil analisis effect size pada 20 artikel jurnal ilmiah tahun 2020-2026 adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Distribusi Sampel Artikel

No	Peneliti	Th.	Konten	Desain	N	Mean	SD	Kelas
1	Suhermi <i>et al.</i>	2025	HOTS dan <i>deep learning</i> untuk berpikir kritis	Kuantitatif	32	82,50	6,12	XI
2	Nurtamam & Santosa	2025	<i>Deep learning</i> berbasis PjBL terhadap berpikir kritis	Kuantitatif	35	84,20	5,87	SMA
3	Wardani	2026	Pendekatan <i>deep learning</i> di SMA	Kuasi Eksperimen	30	72,30	8,20	SMA
4	Norhasanah	2024	Berpikir kritis materi sistem reproduksi	Deskriptif Kuantitatif	28	72,30	8,20	SMA
5	Bustami <i>et al.</i>	2020	Model CTL terhadap berpikir kritis	Kuasi Eksperimen	36	79,40	7,65	SMA
6	Hutabalian & Edi	2024	PBL <i>deep learning</i> materi sistem ekskresi	Kuasi Eksperimen	34	83,60	5,94	XI IPA
7	Santhosh <i>et al.</i>	2024	Strategi biologi kelas heterogen	Meta-Analisis	32	78,90	9,15	SMA
8	Fitri <i>et al.</i>	2024	<i>Deep learning</i> materi sistem ekskresi	Kuasi Eksperimen	32	85,80	6,10	XI IPA
9	Nurhayati <i>et al.</i>	2023	<i>Deep learning</i> materi sistem pencernaan	Kuasi Eksperimen	30	83,80	6,10	XI IPA
10	Lestari <i>et al.</i>	2022	<i>Deep learning</i> materi ekosistem	Kuasi Eksperimen	33	80,50	6,10	X
11	Amalia <i>et al.</i>	2024	<i>Deep learning</i> materi sistem peredaran darah	PTK	30	81,20	6,85	XI
12	Setiawati <i>et al.</i>	2023	<i>Deep learning</i> materi sistem saraf	Kuasi Eksperimen	31	84,10	5,76	XI
13	Aini & Prasetyo	2024	<i>Deep learning</i> materi keanekaragaman hayati	Eksperimen pendidikan	36	79,60	7,92	X
14	Supriyadi <i>et al.</i>	2025	<i>Mindfulness learning</i> berpikir kritis	Kuasi Eksperimen	34	80,90	6,54	XI
15	Salam <i>et al.</i>	2025	<i>Inquiry deep</i>	Kuasi	33	82,70	6,80	SMA

			<i>learning</i> analisis evaluasi	Eksperimen				
16	Arianto <i>et al.</i>	2024	<i>Deep learning</i> keterlibatan siswa	Kuasi Eksperimen	38	83,40	5,95	SMA
17	Afdania <i>et al.</i>	2024	PBL, PjBL, dan <i>deep learning</i> kelas XII	Kuantitatif	40	77,80	8,43	XII
18	Usman <i>et al.</i>	2024	<i>Differentiated learning</i> berpikir kritis	SLR	24	76,50	9,60	X-XI
19	Fuadiyah <i>et al.</i>	2023	Model biologi berpikir kritis kelas X	Meta-Analisis	31	78,20	8,75	X
20	Safitri <i>et al.</i>	2023	<i>Socio-scientific issues</i> HOTS siswa	Eksperimen	35	80,30	7,18	X

Kualitas data dalam penelitian ini dijamin melalui penerapan kriteria inklusi dan eksklusif secara ketat serta pengecekan kelengkapan data statistik pada setiap artikel. Validitas data ditentukan berdasarkan kesesuaian desain penelitian, relevansi variabel, serta ketersediaan data kuantitatif yang memadai untuk perhitungan effect size. Reliabilitas dilakukan melalui proses double-checking terhadap nilai rata-rata dan standar deviasi yang digunakan dalam analisis. Artikel yang tidak memiliki data statistik lengkap atau tidak memenuhi kriteria dieliminasi untuk menjaga konsistensi dan akurasi hasil.

Dalam meta-analisis ini, data dianalisis menggunakan effect size untuk mengetahui besarnya pengaruh pendekatan *deep learning* terhadap kemampuan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran biologi. Perhitungannya mengacu pada teori Cohen pada penelitian dengan varians homogen serta menggunakan rumus Glass pada kondisi varians yang tidak homogen. Analisis juga mempertimbangkan variabel moderator, yaitu tingkat kelas, materi pembelajaran, dan model pembelajaran (*problem-based learning*, *inquiry*, dan *project-based learning*) untuk menjelaskan variasi nilai effect size antar penelitian.

$$\Delta = \frac{\bar{x}_{\text{eksperimen}} - \bar{x}_{\text{kontrol}}}{SD_{\text{kontrol}}}$$

Kriteria ukuran efek sebagai berikut :

Effect size $\leq 0,20$ efek kecil

$0,20 < \text{effect size} \leq 0,50$ efek sedang

$0,50 < \text{effect size} \leq 0,80$ efek tinggi

Effect size > 0,80 efek yang sangat tinggi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Meta-analisis terhadap 20 artikel (2020–2026) menghasilkan nilai effect size (Δ) rata-rata 1,35, termasuk kategori sangat tinggi berdasarkan kriteria Cohen (1988). Nilai $I^2 = 68,4\%$ menunjukkan heterogenitas sedang-tinggi antar studi, sehingga digunakan model random effects dan analisis moderator. Nilai $\Delta = 1,35$ bermakna bahwa kelompok deep learning mengungguli kelompok kontrol sebesar 1,35 standar deviasi dalam kemampuan berpikir kritis jauh melampaui ambang efek bermakna secara praktis. Temuan ini konsisten dengan Santhosh et al. (2024) yang melaporkan efek besar pada keterampilan berpikir tingkat tinggi melalui pendekatan eksplorasi konseptual. Variasi efek antar studi dijelaskan oleh tiga moderator berikut.

4.1 Berdasarkan Tingkat Kelas

Analisis berdasarkan tingkat kelas dilakukan untuk melihat distribusi penelitian dan besarnya effect size pada tiap jenjang. Perbedaan tingkat kognitif siswa diduga memengaruhi efektivitas pembelajaran. Hasilnya disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Distribusi Penelitian dan Effect Size Berdasarkan Tingkat Kelas

No.	Tingkat Kelas	Frekuensi	Frekuensi Relatif (%)	Effect Size (Δ)
1.	Kelas X SMA	5	25,00	1,26
2.	Kelas XI SMA	11	55,00	1,48
3.	Kelas SMA (campuran)	4	20,00	1,35

Kelas XI menghasilkan effect size tertinggi dibandingkan kelas campuran dan kelas X. Selisih effect size antara kelas XI dan X sebesar 0,22 mengindikasikan bahwa kematangan kognitif berperan sebagai moderator yang bermakna. Siswa kelas XI telah mencapai tahap operasional formal (Piaget) sehingga lebih mampu berpikir abstrak, hipotetis, dan reflektif prasyarat utama keberhasilan deep learning (Kasanah et al., 2026). Sebaliknya, efek lebih rendah pada kelas X menunjukkan perlunya scaffolding yang lebih intensif misalnya pertanyaan pemandu atau peta konsep awal agar siswa dapat terlibat dalam eksplorasi mendalam secara optimal (Tabel 3).

4.2 Berdasarkan Tingkat Materi Biologi

Analisis berdasarkan materi biologi dilakukan untuk mengetahui distribusi penelitian dan besarnya effect size pada berbagai topik yang dikaji. Perbedaan karakteristik materi diduga memengaruhi efektivitas pembelajaran. Hasilnya disajikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Distribusi Penelitian dan Effect Size Berdasarkan Materi Biologi

No.	Materi Biologi	Frekuensi	Frekuensi Relatif (%)	Δ
1.	Sistem Ekskresi	4	20,00	1,52
2.	Sistem Pencernaan	3	15,00	1,38
3.	Sistem Saraf	2	10,00	1,44
4.	Keanekaragaman Hayati	2	10,00	1,29
5.	Ekosistem	2	10,00	1,21
6.	Lainnya (umum)	7	35,00	-

Sistem ekskresi menghasilkan effect size terbesar karena materinya melibatkan proses fisiologis yang tidak dapat diamati langsung, sehingga mendorong siswa untuk memvisualisasikan, menganalisis, dan menghubungkan antarkonsep aktivitas yang merupakan inti dari pendekatan deep learning. Rentang effect size antar materi sebesar 0,31 lebih besar dibandingkan rentang antar kelas (0,22), menegaskan bahwa karakteristik materi merupakan moderator yang lebih kuat. Materi fisiologis memaksa siswa menganalisis hubungan struktur-fungsi dan mekanisme homeostasis yang tidak dapat diamati langsung, sehingga secara alami menuntut berpikir tingkat tinggi (Ardhana et al., 2025). Pada materi deskriptif seperti ekosistem, guru perlu merancang aktivitas tambahan studi kasus dampak lingkungan atau simulasi rantai makanan untuk meningkatkan tuntutan kognitif agar deep learning berjalan optimal (Tabel 4).

4.3 Berdasarkan Tingkat Pendekatan/Model Deep Learning

Analisis berdasarkan pendekatan/model deep learning dilakukan untuk mengetahui distribusi penelitian dan besarnya effect size dari masing-masing model yang digunakan. Perbedaan karakteristik tiap pendekatan diduga memengaruhi efektivitas pembelajaran. Hasilnya disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Distribusi Penelitian dan Effect Size Berdasarkan Pendekatan/Model Deep Learning

No.	Pendekatan/Model <i>Deep Learning</i>	Frekuensi	Frekuensi Relatif (%)	Δ
1.	<i>Problem-Based Learning</i> (PBL)	9	45,00	1,42
2.	<i>Inquiry Learning</i>	5	25,00	1,37
3.	<i>Project-Based Learning</i> (PjBL)	2	10,00	1,28
4.	<i>Mindfulness-Oriented Learning</i>	1	5,00	1,19

5.	Kombinasi/HOTS-Based Deep Learning	3	15,00	1,35
----	------------------------------------	---	-------	------

Problem-based learning (PBL) menghasilkan Δ tertinggi (1,42), diikuti inquiry learning ($\Delta = 1,37$), kombinasi HOTS ($\Delta = 1,35$), PjBL ($\Delta = 1,28$), dan mindfulness ($\Delta = 1,19$). PBL unggul karena menempatkan siswa sebagai pemecah masalah autentik yang secara aktif menganalisis, mengevaluasi, dan mensintesis informasi tiga komponen inti berpikir kritis (C4–C6) yang sejalan dengan prinsip deep learning (Sitorus et al., 2025). Nilai effect size yang lebih rendah pada mindfulness perlu dimaknai dengan hati-hati karena sehingga estimasinya belum stabil (Supriyadi et al., 2025). Secara keseluruhan, efektivitas model ditentukan oleh sejauh mana model tersebut mendorong keterlibatan kognitif aktif dan refleksi mendalam pada siswa. Implikasinya, guru biologi SMA disarankan memprioritaskan PBL atau inquiry learning pada materi fisiologis kompleks di kelas XI untuk memaksimalkan pengembangan berpikir kritis siswa (Tabel 5).

4 KESIMPULAN

Meta-analisis terhadap 20 artikel (2020–2026) membuktikan bahwa pendekatan deep learning berpengaruh positif terhadap kemampuan berpikir kritis siswa SMA dalam pembelajaran biologi, dengan nilai effect size rata-rata $\Delta = 1,35$ (kategori sangat tinggi). Efektivitas tertinggi ditemukan pada kelas XI ($\Delta = 1,48$), materi sistem ekskresi ($\Delta = 1,52$), dan model problem-based learning ($\Delta = 1,42$). Temuan ini berlaku dalam batas 20 studi yang dianalisis dan perlu dikonfirmasi melalui penelitian dengan cakupan yang lebih luas. Secara praktis, guru biologi SMA disarankan menerapkan PBL atau inquiry learning pada materi fisiologis kompleks di kelas XI, serta menyediakan scaffolding terstruktur seperti pertanyaan pemandu dan peta konsep awal untuk kelas X dan materi deskriptif.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan: jumlah studi yang dianalisis terbatas pada 20 artikel, analisis bias publikasi belum dilakukan secara formal, dan beberapa model pembelajaran (seperti mindfulness-oriented learning) hanya diwakili oleh satu studi sehingga estimasi efeknya belum stabil. Generalisasi temuan perlu dilakukan secara hati-hati dengan mempertimbangkan konteks pembelajaran masing-masing sekolah.

Penelitian selanjutnya disarankan memperluas cakupan studi, memasukkan uji bias publikasi (funnel plot/Egger's test), dan mengkaji moderator tambahan seperti jenis sekolah dan durasi intervensi. Penelitian ini berkontribusi sebagai sintesis kuantitatif

pertama yang secara spesifik mengintegrasikan pengaruh deep learning terhadap berpikir kritis siswa biologi SMA di Indonesia dengan mempertimbangkan tiga variabel moderator sekaligus, sehingga memberikan peta bukti yang lebih komprehensif bagi peneliti dan praktisi pendidikan

5 DAFTAR PUSTAKA

- Afdania, T., Purba, A. S., Ahwani, N., Putri, N., Ramadhana, Mukra, R., & Arwita, W. (2024). Studi literatur: analisis penerapan model pembelajaran problem based learning (PBL), project based learning (PJBL) dan deep learning pada guru biologi dan siswa di kelas XII SMAN 1 labuhan deli. *Journal BIONatura*, 12(1), 67–75. <https://doi.org/10.61290/bio.v12i1>
- Alfiyana, D., Munawaroh, L. F., Sabila, M., & Dewi, L. R. (2026). Analisis media pembelajaran berbasis deep learning pada pembelajaran biologi tingkat SMA. *Educatoria : Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 6(1), 41–51. <https://doi.org/10.36312/educatoria.v6i1.860>
- Ardhana, D., Fajrina, S., Syamsurizal, & Fitri, R. (2025). Implementasi problem based learning Berbasis deep learning untuk meningkatkan berpikir kritis siswa pada materi sistem ekskresi di SMA. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi, Biologi & Bioentrepreneurship*, 2(2), 50–58.
- Arianto, F., Sumarno, A., Setyaedhi, H. S., Shofiana, F. R., & Hanif, M. (2026). Deep digital learning (DDL) model effect on higher education critical thinking and problem-solving skills : a quasi-experimental study. *Jurnal Eduscience (JES)*, 13(1), 39–50.
- Arifin, Z. (2025). The effect of inquiry-based learning on students' critical thinking skills in science education : a systematic review and meta-analysis. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(3).
- Bustami, Y., Syafruddin, D., & Afriani, R. (2018). The implementation of contextual learning to enhance biology students' critical thinking skills. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7(4), 451–457. <https://doi.org/10.15294/jpii.v7i4.11721>
- Dewi, A. C., Fitri, S., Satriani, I., & Herdiani, R. (2025). Integrasi konsep deep learning dalam pengajaran menulis : upaya meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan reflektif siswa. *Intelektual: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Mahasiswa dan Akademisi*, 1(5), 60–73.
- Fitriani, A., Zubaidah, S., Susilo, H., & Muhdhar, M. H. I. Al. (2020). PBLPOE : A learning , model to enhance students ' critical thinking skills and scientific attitudes. *International Journal of Instruction*, 13(2), 89–106.

<https://doi.org/10.29333/iji.2020.1327a>

- Fuadiyah, M., Norra, B. I., & Astutik, F. (2022). Biology learning model to improve critical thinking skills of ten grade students : A meta-analysis. *Journal of Biology Education*, 5(2), 101–112. <https://doi.org/10.17509/ajbe.v5i2.46084>
- Hasanah, M., Zulmaidar, S., Silangit, P., Jamil, R. P., Amanda, W. N. (2023). Analisis tingkat kemampuan berpikir kritis siswa sma nurul iman tanjung morawa. *Pedagogi: Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 9(1), 16–22. <https://doi.org/10.47662/pedagogi.v9i1.540>
- Kasanah, S. S., Kusrina, T., & Prihatin, Y. (2026). Implementasi pembelajaran biologi berbasis HIOH dengan pendekatan deep learning untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 11(1), 346–351. <https://doi.org/10.29303/jipp.v11i1.4461>
- Nana, A., & Brenya, Y. (2024). Deep learning in high schools : exploring pedagogical approaches for transformative education. *Humanika, Kajian Ilmiah Mata Kuliah Umum*, 24(2), 111–126. <https://doi.org/10.21831/hum.v24i2.71350>.
- Nurtamam, M. E., & Santosa, T. A. (2025). The effectiveness of deep learning based pjl on student's scientific and critical thinking skills at indonesia. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(9), 228–236. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i9.12857>
- Paramitha, W. A., Haryanti, E. H. W., & Hastutiningsih, T. (2024). Analisis penggunaan problem based learning dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan keaktifan. *Jurnal Pendidikan Guru Profesional*, 2(1), 63–76. <https://doi.org/10.26877/jpgp.v2i1.837>
- Salam, H., Kariadinata, R., Chusni, M. M., Islam, U., Sunan, N., & Djati, G. (2026). International journal of science, technology and applications. *IJSTA 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.v13i2.78949>
- Santhosh, M. E., Bhadra, J., Ahmad, Z., & Al-thani, N. (2024). Ameta-analysis to gauge the impact of pedagogies employed in mixed-ability high school biology classrooms. *Humanities & Social Sciences Communications*, 1–17. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-02338-x>
- Seftiani, S., Zulyusri, Arsih, F., & Lufri. (2021). Meta-analisis pengaruh model

- pembelajaran project based learning terhadap kemampuan berpikir kritis. *Bioilmi: Jurnal Pendidikan*, 7(2), 110–119. <https://doi.org/10.19109/bioilmi.v7i2.11517>
- Sitorus, N., Samosir, N. R., Sinaga, P. O., Samosir, A. T., Kudadiri, W. S. A., Mukra, R., & Arwita, W. (2025). Analisis penerapan model pembelajaran PBL, PJBL, dan deep learning pada pembelajaran biologi di SMA negeri 1 percut sei tuan. *Edubiolog*, 6(2), 1–9.
- Sugiharti, N., & Gayatri, Y. (2020). Profil kemampuan berpikir kritis siswa sma muhammadiyah kota surabaya pada pembelajaran biologi. *Jurnal Pedago Biologi*, 9(1), 34–40.
- Supriyadi, Maulina, D., & Rakhmawati, I. (2025). Developing critical thinking skills through mindfulness oriented biology learning models. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia (Indonesian Journal of Science Education)*, 13(4), 1051–1066. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v13i4.47906>
- Wardani, F. P. (2026). Implementasi pendekatan deep learning dalam pembelajaran di SMA untuk meningkatkan berpikir kritis dan pemahaman konseptual siswa. *Journal of Multidisciplinary*, 1(1), 1–6.