



Transformasi Pembelajaran Sains melalui *Deep Learning*: Sebuah Kajian Sistematis

Ngurah Mahendra Dinatha ✉, STKIP Citra Bakti

✉ nur_2102104007@mhs.unipma.ac.id

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji bagaimana pendekatan *deep learning* mampu mentransformasi pembelajaran sains menjadi lebih bermakna, reflektif, dan kontekstual di abad ke-21. Dengan menggunakan metode *Systematic Literature Review (SLR)*, studi ini menganalisis 15 artikel ilmiah terbitan tahun 2020–2025 yang memenuhi kriteria inklusi terkait penerapan strategi *deep learning* dalam pembelajaran sains pada berbagai jenjang pendidikan. Data diekstraksi berdasarkan strategi pembelajaran, dampak terhadap hasil belajar, serta tantangan implementasinya, kemudian dianalisis secara tematik kualitatif. Hasil kajian menunjukkan bahwa pendekatan *Project-Based Learning*, *Inquiry-Based Learning*, pembelajaran kolaboratif, integrasi teknologi (*e-learning*, media sosial), dan kreativitas terbukti efektif dalam meningkatkan hasil belajar kognitif, motivasi, literasi sains, serta keterampilan berpikir kritis dan kreatif siswa. Beberapa studi juga menunjukkan manfaat pendekatan kontekstual dan kolaborasi lintas sektor dalam membangun kesadaran sosial dan pemahaman aplikatif. Meskipun demikian, ditemukan tantangan implementasi seperti keterbatasan waktu, kesiapan guru, kurangnya pelatihan pedagogis, dan keterbatasan generalisasi. Kesimpulannya, pendekatan *deep learning* memiliki potensi besar untuk mentransformasi pembelajaran sains, namun implementasinya memerlukan dukungan sistemik melalui kebijakan pendidikan, pelatihan guru, dan pengembangan kurikulum yang adaptif terhadap kebutuhan pembelajaran abad ke-21.

Kata Kunci: *Pembelajaran sains, Deep learning, Transformasi pendidikan, Kajian sistematis*

Abstract: This study aims to examine how the deep learning approach can transform science education into a more meaningful, reflective, and contextual process in the 21st century. Using the Systematic Literature Review (SLR) method, this research analyzed 15 scholarly articles published between 2020 and 2025 that met the inclusion criteria regarding the application of deep learning strategies in science learning across various educational levels. Data were extracted based on learning strategies, learning outcomes, and implementation challenges, then analyzed thematically and qualitatively. The findings indicate that approaches such as Project-Based Learning, Inquiry-Based Learning, collaborative learning, technology integration (e-learning, social media), and creativity are effective in improving cognitive achievement, motivation, science literacy, and students' critical and creative thinking skills. Several studies also highlight the benefits of contextual approaches and cross-sector collaboration in fostering social awareness and applied scientific understanding. However, implementation challenges were identified, including time constraints, teacher readiness, lack of pedagogical training, and limited generalizability. In conclusion, the deep learning approach holds significant potential to transform science education, but its successful implementation requires systemic support through educational policies, teacher training, and curriculum development that is responsive to the demands of 21st-century learning.

Keywords: Science education, Deep learning, Educational transformation, Systematic review



PENDAHULUAN

Pembelajaran sains di abad ke-21 menuntut perubahan paradigma dari sekadar penguasaan konsep menuju pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Model pembelajaran tradisional yang berpusat pada guru dan berfokus pada hafalan tidak lagi memadai dalam menyiapkan peserta didik menghadapi kompleksitas dunia nyata. Berbagai studi menyatakan bahwa siswa sering kali mengalami kesulitan dalam mengaitkan konsep-konsep sains dengan kehidupan sehari-hari, yang berdampak pada rendahnya literasi sains (Sakina et al., 2025). Selain itu, rendahnya partisipasi aktif siswa dalam proses pembelajaran menjadi tantangan tersendiri dalam menciptakan pembelajaran yang bermakna. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan pembelajaran yang mampu menjawab tantangan tersebut secara komprehensif dan berkelanjutan.

Permasalahan utama dalam pembelajaran sains adalah kurangnya penekanan pada proses berpikir mendalam, reflektif, dan kontekstual (Huda & Djono, 2025). Siswa cenderung hanya mempelajari materi secara permukaan demi tujuan ujian, bukan untuk pemahaman jangka panjang atau penerapan nyata. Hal ini memperlihatkan adanya kesenjangan antara kompetensi abad ke-21 yang diharapkan dengan praktik pembelajaran di kelas. Oleh karena itu, muncul kebutuhan akan transformasi pendekatan pembelajaran yang tidak hanya menyampaikan konten, tetapi juga mendorong pengembangan kognitif dan afektif siswa. Salah satu pendekatan yang dipandang menjanjikan dalam menjembatani kesenjangan ini adalah pendekatan *deep learning* dalam konteks pendidikan.

Pendekatan *deep learning* dalam pendidikan mengacu pada proses pembelajaran yang memungkinkan siswa membangun pemahaman yang mendalam, mengaitkan ide-ide baru dengan pengalaman sebelumnya, serta mampu mengaplikasikannya secara fleksibel. Berbeda dengan *surface learning* yang hanya menekankan hafalan, *deep learning* mendorong keterlibatan intelektual yang lebih dalam, termasuk refleksi, analisis, dan sintesis informasi. Dalam konteks pembelajaran sains, pendekatan ini menjadi sangat relevan karena ilmu sains bersifat konseptual dan memerlukan pemahaman lintas topik serta kemampuan berpikir kritis (Saputra et al., 2025). Kerangka ini juga mengacu pada prinsip konstruktivisme yang menekankan peran aktif siswa dalam membangun makna. Dengan demikian, *deep learning* dapat menjadi jembatan antara tujuan pendidikan sains dan praktik pembelajaran yang inovatif.

Beberapa strategi pembelajaran yang telah dikaitkan dengan pendekatan *deep learning* antara lain *Project-Based Learning*, *Inquiry-Based Learning*, *Collaborative Learning*. Ketiga pendekatan ini memberikan ruang bagi siswa untuk mengeksplorasi masalah nyata, merumuskan hipotesis, melakukan investigasi, dan merefleksikan pemahaman mereka secara mendalam. Penelitian menunjukkan bahwa strategi-strategi tersebut mampu meningkatkan motivasi belajar, rasa ingin tahu, serta pemahaman konseptual siswa dalam pembelajaran sains. Hal ini juga mendukung terbentuknya lingkungan belajar kolaboratif dan dialogis yang sangat penting dalam pengembangan kompetensi sosial dan komunikatif siswa. Dengan demikian, penerapan strategi *deep learning* membuka peluang terjadinya transformasi pembelajaran yang lebih humanistik dan berorientasi pada proses.

Meskipun berbagai pendekatan *deep learning* telah diperkenalkan dalam dunia pendidikan, masih terdapat kesenjangan dalam pemahaman menyeluruh mengenai efektivitas dan tantangan implementasinya, khususnya dalam pembelajaran sains. Banyak guru masih belum memiliki panduan yang jelas atau sumber daya yang cukup untuk menerapkan pendekatan ini secara konsisten dan berkelanjutan. Oleh karena itu, penting untuk melakukan kajian sistematis terhadap literatur yang ada guna memetakan praktik terbaik, kendala yang dihadapi, serta rekomendasi implementasi yang relevan. Penelitian ini juga penting untuk mendukung pengambilan kebijakan yang berbasis bukti dalam reformasi kurikulum dan pelatihan guru.

Dengan kata lain, studi ini berkontribusi dalam menyediakan dasar konseptual dan praktis untuk transformasi pembelajaran sains melalui *deep learning*.

Berbagai penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa pendekatan *deep learning* dapat meningkatkan hasil belajar, keterlibatan siswa, dan keterampilan berpikir kritis. Misalnya, studi oleh Kurniawan et al. (2023) menunjukkan peningkatan pemahaman konsep sains secara signifikan pada siswa yang terlibat dalam pembelajaran berbasis masalah. Namun, sebagian besar studi tersebut bersifat lokal, terbatas pada satu jenjang pendidikan, atau tidak secara eksplisit membandingkan berbagai strategi *deep learning*. Di sinilah letak gap yang ingin dijawab oleh penelitian ini yakni melakukan sintesis sistematis dari beragam studi lintas jenjang dan strategi untuk memahami gambaran besarnya. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis maupun praktis yang lebih komprehensif.

Untuk menjawab kebutuhan akan pemetaan dan pemahaman menyeluruh, penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR). SLR dipilih karena metodologi ini memungkinkan peneliti menelaah secara sistematis, transparan, dan terstruktur terhadap publikasi ilmiah yang relevan. Dalam studi ini, sebanyak 15 artikel ilmiah terbitan 2020–2025 dianalisis untuk mengidentifikasi strategi, dampak, dan tantangan implementasi *deep learning* dalam pembelajaran sains. Dengan batasan waktu yang relatif baru, hasil kajian ini mencerminkan tren dan praktik pembelajaran mutakhir yang sedang berkembang. Metode ini juga memberi dasar kuat untuk pengambilan keputusan yang berbasis bukti dalam praktik pendidikan.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih jelas mengenai bagaimana pendekatan *deep learning* dapat mentransformasi pembelajaran sains secara nyata di ruang kelas. Temuan yang diperoleh juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi para pendidik, pengembang kurikulum, dan pengambil kebijakan dalam merancang sistem pembelajaran yang lebih kontekstual dan berkelanjutan. Selain itu, kajian ini juga membuka ruang diskusi untuk penelitian lanjutan yang mengeksplorasi pengaruh pendekatan ini dalam konteks lokal yang lebih spesifik. Dengan kontribusi ini, penelitian berperan dalam mendorong inovasi pendidikan yang tidak hanya berorientasi pada hasil akhir, tetapi juga pada proses belajar yang bermakna. Sebab pada akhirnya, transformasi pembelajaran sains hanya akan berhasil bila didukung oleh pendekatan yang mampu menggugah nalar, emosi, dan pengalaman peserta didik secara holistik.

METODE

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk menelaah dan mensintesis temuan-temuan dari berbagai studi empiris mengenai penerapan pendekatan *deep learning* dalam pembelajaran sains. SLR dipilih karena metode ini memungkinkan peneliti untuk mengkaji literatur secara sistematis, terstruktur, dan transparan guna menghasilkan bukti yang dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

Subjek Penelitian

Subjek dalam penelitian ini bukan berupa individu atau kelompok, melainkan artikel-artikel ilmiah yang relevan dan memenuhi kriteria tertentu berdasarkan fokus kajian. Artikel yang dikaji merupakan publikasi ilmiah yang membahas penerapan pendekatan *deep learning* dalam konteks pembelajaran sains. Untuk memastikan validitas dan relevansi temuan, peneliti menetapkan kriteria inklusi dan eksklusi sebagai berikut:

Kriteria Inklusi

- 1) Artikel merupakan hasil penelitian empiris (kuantitatif, kualitatif, atau campuran) atau studi berbasis praktik yang dilakukan di lapangan.
- 2) Artikel dipublikasikan dalam rentang waktu 2020 hingga 2025 untuk memastikan relevansi dan kekinian temuan yang dianalisis.

- 3) Fokus utama artikel adalah pada penerapan pendekatan *deep learning* dalam pembelajaran sains, baik dalam konteks formal (sekolah, perguruan tinggi) maupun nonformal (workshop, pelatihan).
- 4) Artikel ditulis dalam bahasa Inggris atau Indonesia, agar dapat dianalisis secara menyeluruh oleh peneliti.
- 5) Artikel dipublikasikan dalam jurnal ilmiah bereputasi yang telah melalui proses *peer-review*.
- 6) Artikel bukan merupakan kajian sistematis (*Systematic Literature Review/SLR*), meta-analisis, atau jenis tinjauan literatur lainnya, untuk menghindari tumpang tindih data sekunder dan menjaga fokus pada data empiris primer.

Kriteria Eksklusi

- 1) Artikel yang hanya berupa opini, editorial, esai, atau ulasan buku.
- 2) Artikel yang tidak secara eksplisit membahas pendekatan *deep learning* dalam pembelajaran sains, meskipun mungkin terkait dengan pendidikan secara umum.
- 3) Artikel yang tidak tersedia dalam versi lengkap (*full text*) atau hanya menyediakan abstrak.
- 4) Artikel yang dipublikasikan di *platform* non-jurnal atau sumber tidak bereputasi, seperti blog, media populer, atau *repository* tanpa proses penelaahan sejawat.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan melalui lima tahapan utama mengacu pada model SLR yaitu:

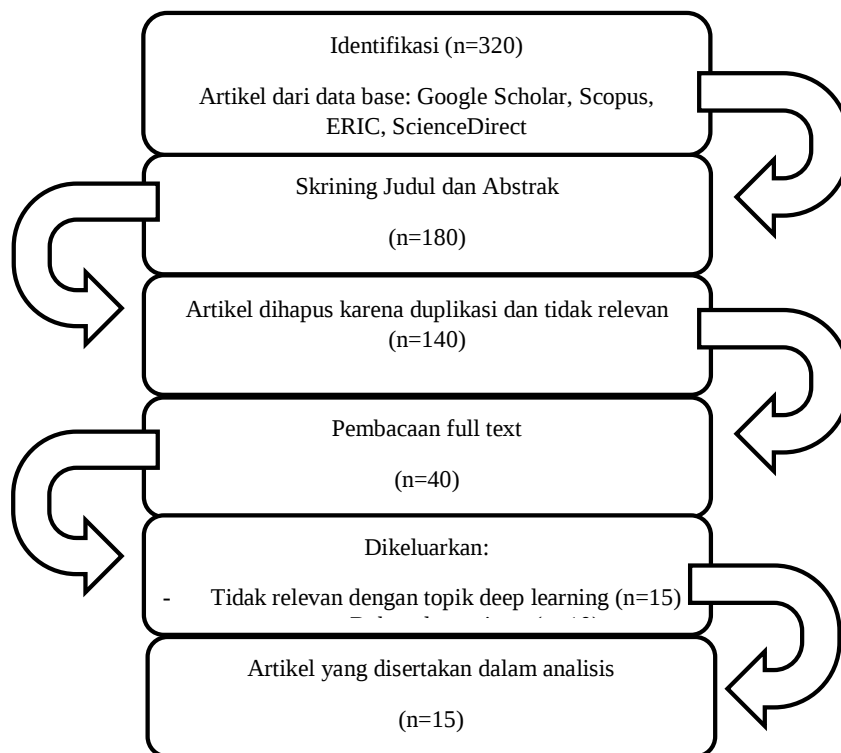
- 1) Identifikasi Pertanyaan Penelitian
 Penelitian ini difokuskan untuk menjawab tiga pertanyaan utama:
 - a. Strategi pembelajaran apa saja yang digunakan dalam pendekatan *deep learning* untuk pembelajaran sains?
 - b. Bagaimana pengaruh pendekatan tersebut terhadap hasil belajar siswa?
 - c. Apa saja tantangan yang dihadapi dalam implementasinya?
- 2) Penelusuran Literatur
 Pencarian artikel dilakukan melalui database akademik seperti *Google Scholar*, *ERIC*, *Scopus*, dan *ScienceDirect*. Kata kunci yang digunakan antara lain: "*deep learning in science education*", "*transformative learning*", "*conceptual understanding*", dan "*Project-Based Learning, Inquiry-Based Learning, Problem-Based Learning in science*"
- 3) Seleksi Artikel
 Seleksi dilakukan dalam dua tahap: penyaringan judul dan abstrak, lalu pembacaan penuh teks artikel. Artikel yang tidak memenuhi kriteria eksklusi dieliminasi.
- 4) Ekstraksi Data
 Informasi yang diekstraksi dari setiap artikel meliputi: Informasi bibliografis (judul, penulis, tahun), jenjang pendidikan, strategi pembelajaran, hasil utama, dan tantangan yang diidentifikasi.
- 5) Sintesis Temuan
 Data dianalisis untuk mengidentifikasi pola, kesamaan, dan perbedaan antar studi serta menyusun temuan secara tematik berdasarkan kerangka pertanyaan penelitian.

Visualisasi Proses: Diagram PRISMA

Untuk mendukung transparansi metodologi, alur proses pemilihan artikel ditampilkan menggunakan diagram PRISMA berikut:

- 1) Identifikasi
 Sebanyak 320 artikel awal ditemukan melalui pencarian literatur pada database akademik (*Google Scholar*, *Scopus*, *ERIC*, *ScienceDirect*) menggunakan kombinasi kata kunci seperti "*deep learning in science education*", "*Project-Based Learning in science*", dan sejenisnya.

- 2) Skrining
Dari total tersebut, 180 artikel lolos tahap awal dan diseleksi berdasarkan judul dan abstrak. Artikel yang tidak relevan, redundan, atau tidak sesuai dengan topik dikeluarkan.
- 3) Penyisihan
Sebanyak 140 artikel dieliminasi karena:
 - Topik tidak relevan dengan pembelajaran sains berbasis deep learning
 - Merupakan artikel duplikat
 - Tidak menyajikan data empiris atau hanya berupa opini
- 4) Kelayakan
40 artikel masuk tahap full-text review. Pada tahap ini, setiap artikel dianalisis secara menyeluruh untuk mengevaluasi kesesuaian isi terhadap kriteria inklusi dan eksklusi.
- 5) Inklusi (Analisis Akhir)
Akhirnya, sebanyak 15 artikel yang memenuhi seluruh kriteria dimasukkan ke dalam proses sintesis tematik kualitatif. Artikel-artikel ini menjadi dasar untuk menjawab pertanyaan penelitian mengenai strategi, dampak, dan tantangan implementasi deep learning dalam pembelajaran sains. Selengkapnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Visualisasi diagram PRISMA

Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah formulir ekstraksi data yang dikembangkan peneliti untuk mencatat dan mengorganisasi informasi dari masing-masing artikel. Formulir ini mencakup variabel-variabel seperti:

- a) Informasi bibliografis (judul, penulis, tahun)
- b) Jenjang pendidikan (SD, SMP, SMA, perguruan tinggi)
- c) Strategi pembelajaran yang digunakan
- d) Metode penelitian dalam artikel asli
- e) Temuan utama terkait hasil belajar
- f) Tantangan atau keterbatasan yang dilaporkan

Analisis Data

Analisis data dilakukan secara tematik-kualitatif dengan mengelompokkan hasil ekstraksi ke dalam beberapa kategori besar sesuai fokus penelitian: (1) strategi pembelajaran *deep learning*, (2) dampak terhadap hasil belajar siswa, dan (3) tantangan implementasi. Selanjutnya, dilakukan sintesis naratif untuk menjelaskan bagaimana pendekatan *deep learning* diimplementasikan dalam berbagai konteks pendidikan sains dan bagaimana hasil-hasilnya berkontribusi pada literatur yang ada. Validitas analisis diperkuat dengan teknik triangulasi sumber, yaitu membandingkan temuan antar artikel dari berbagai jenjang pendidikan dan wilayah geografis.

HASIL

Kajian terhadap 15 artikel intervensi pembelajaran sains menunjukkan bahwa strategi seperti PjBL, IBL, *Collaborative Learning*, serta integrasi teknologi dan budaya lokal efektif diterapkan di berbagai jenjang pendidikan. Pendekatan ini mampu meningkatkan keterampilan abad ke-21, termasuk berpikir kreatif, literasi sains, dan hasil belajar kognitif. Sebagian besar studi mencatat peningkatan signifikan pada skor *posttest*, *N-Gain*, dan respons siswa. Meski demikian, tantangan seperti keterbatasan sampel, waktu, pelatihan guru, dan keterlibatan siswa masih ditemukan. Temuan ini menekankan pentingnya pembelajaran sains yang kolaboratif, kontekstual, dan adaptif. Hasil selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis Komparatif 15 Artikel Intervensi Pembelajaran Sains Berdasarkan Strategi Pembelajaran, Metode, Temuan, dan Keterbatasan

No	Bibliografis	Jenjang Pendidikan	Strategi Pembelajaran	Metode	Temuan Utama	Tantangan/Keterbatasan
1	Kontribusi STEAM Project Based Learning dalam Mengukur Keterampilan Proses Sains dan Berpikir Kreatif Siswa (Suryaningsih & Nisa, 2021)	SMA Penelitian dilakukan pada siswa kelas XI IPA di MAN Sidoarjo.	STEAM Project-Based Learning terintegrasi dengan Instagram dan WhatsApp Group digunakan sebagai platform pendukung untuk kolaborasi, dokumentasi, dan komunikasi dalam pembelajaran berbasis proyek.	Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan data dikumpulkan melalui kuesioner Google Form berisi 14 indikator keterampilan proses sains dan berpikir kreatif, dari 76 siswa yang dipilih secara purposive sampling.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa keterampilan proses sains memperoleh skor rata-rata 4,164 (83,3%) dan keterampilan berpikir kreatif 4,134 (82,7%), keduanya termasuk kategori sangat tinggi. Model STEAM Project-Based Learning terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis, literasi sains, berpikir analitis, kreativitas, inovasi, dan pemecahan masalah. Selain itu, integrasi media sosial seperti Instagram dan WhatsApp Group turut berkontribusi dalam meningkatkan literasi digital serta keterampilan motorik siswa.	Penelitian ini memiliki keterbatasan pada fokus materi, yaitu hanya menerapkan STEAM Project-Based Learning pada topik titrasi asam-basa dalam pembelajaran kimia. Belum terdapat pengujian terhadap materi lain atau konteks pembelajaran yang lebih luas, sehingga generalisasi hasil masih terbatas. Meskipun hambatan implementasi teknis tidak dijelaskan secara eksplisit, tersirat perlunya pengembangan lebih lanjut agar pendekatan ini dapat diterapkan secara optimal di berbagai topik dan situasi pembelajaran.
2	Efektivitas Model Pembelajaran Project Based Learning (PjBL) terhadap Minat	SMA Kelas XI IPA di SMA Negeri 4 Seluma	Project Based Learning (PjBL) dengan penugasan proyek membuat poster tentang sistem ekskresi	Penelitian kuasi-eksperimen ini menggunakan desain Randomized Control Group Pretest-Posttest	PjBL terbukti efektif meningkatkan minat dan hasil belajar biologi, ditunjukkan oleh skor minat dan post-test yang signifikan lebih tinggi	Artikel tidak secara eksplisit menyatakan keterbatasan penelitian, namun dari konteks dapat diidentifikasi beberapa tantangan, seperti rendahnya

No	Bibliografis	Jenjang Pendidikan	Strategi Pembelajaran	Metode	Temuan Utama	Tantangan/Keterbatasan
	dan Hasil Belajar Siswa (Hamidah & Citra, 2021)		(ginjal) dan presentasi kelompok.	dengan instrumen angket minat belajar dan tes kognitif, dianalisis menggunakan uji-t untuk membandingkan hasil antara kelas eksperimen dan kontrol.	di kelas eksperimen dibanding kelas kontrol (Sig. = 0,000)..	keterlibatan awal siswa, perlunya perancangan tugas proyek yang menarik dan relevan, serta belum adanya uji jangka panjang atau replikasi di lintas sekolah dan konteks pembelajaran berbeda.
3	Efektivitas Online Project Based Learning Berbasis Ethnosains pada Pembelajaran IPA terhadap Keterampilan Proses Sains Mahasiswa Selama Pandemi (Rahayu & Ismawati, 2022) (Rina Rahayu & Riva Ismawati, 2022)	Perguruan Tinggi Mahasiswa Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Tidar	Online Project Based Learning (PjBL) berbasis Ethnosains penggabungan antara pendekatan proyek dengan konteks budaya lokal (ethnosains), dilakukan secara daring selama pandemi COVID-19.	Penelitian menggunakan metode kuasi-eksperimen dengan desain One Group Pretest-Posttest Design tanpa kelompok kontrol. Instrumen yang digunakan adalah tes esai keterampilan proses sains berdasarkan indikator Muh Tawil & Liliyasi. Analisis dilakukan dengan membandingkan skor pretest dan posttest serta menghitung nilai N-Gain.	Rata-rata skor pretest sebesar 74 meningkat menjadi 88 pada posttest, dengan nilai N-Gain rata-rata 0,518 yang termasuk kategori sedang. Sebanyak 36 mahasiswa mengalami peningkatan sedang, dan 4 mahasiswa mengalami peningkatan rendah. Semua indikator keterampilan proses sains mengamati, mengklasifikasikan, meramalkan, bereksperimen, dan berkomunikasi mengalami peningkatan. Model pembelajaran yang diterapkan terbukti cukup efektif dalam meningkatkan keterampilan proses sains mahasiswa.	Penelitian ini memiliki keterbatasan desain karena hanya melibatkan satu kelompok eksperimen tanpa kelompok kontrol sebagai pembanding. Dari sisi implementasi, pembelajaran dilakukan secara daring, yang berpotensi memengaruhi keterlibatan langsung mahasiswa dan hasil pembelajaran. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan pembelajaran tatap muka, menguji topik yang berbeda, serta melibatkan jenjang pendidikan atau populasi yang lebih beragam guna meningkatkan validitas eksternal.
4	Pengaruh Model Pembelajaran Collaborative Learning terhadap Motivasi Belajar PAK Siswa Kelas VII SMP Negeri 1 Sipoholon Tahun Pembelajaran 2023/2024 (Sinaga et al., 2024)	Sekolah Menengah Pertama (SMP) Kelas VII (7)	Model pembelajaran Collaborative Learning, yaitu pembelajaran berkelompok yang menekankan pada kerja sama, komunikasi, dan tanggung jawab bersama dalam menyelesaikan tugas.	Penelitian menggunakan Quasi Experimental Design dengan Nonequivalent Control Group Design, melibatkan 32 siswa kelas VII-3 sebagai kelas eksperimen dan 32 siswa kelas VII-4 sebagai kelas kontrol. Instrumen berupa angket motivasi belajar (22 item),	Hasil menunjukkan kelas eksperimen dengan Collaborative Learning memiliki N-Gain Score tinggi (0,7283), sedangkan kelas kontrol rendah (0,1548). Uji t mengonfirmasi perbedaan signifikan ($t_{hitung} = 11,648 > t_{tabel} = 2,000$; $p < 0,05$), sehingga disimpulkan bahwa Collaborative Learning efektif meningkatkan motivasi belajar PAK.	Meskipun tidak disebutkan secara eksplisit, tantangan implisit mencakup perlunya desain pembelajaran yang tepat, keterampilan guru dalam mengelola kerja kelompok, serta keterbatasan generalisasi temuan karena penelitian hanya dilakukan di satu sekolah.

No	Bibliografis	Jenjang Pendidikan	Strategi Pembelajaran	Metode	Temuan Utama	Tantangan/Keterbatasan
				dianalisis menggunakan N-Gain Score dan uji t-independen dengan SPSS.		
5	Implementasi Model Pembelajaran Kooperatif Berbantuan Spinning Question untuk Meningkatkan Hasil Belajar Kognitif Siswa (Nurhaliza et al., 2024)	SMP (kelas VIII)	Model Pembelajaran Kooperatif berbantuan Spinning Question	Quasi Eksperimen (Posttest Only Control Group Design)	Rata-rata hasil belajar kognitif siswa kelas eksperimen lebih tinggi (67,75) dibandingkan kelas kontrol (59,25); ketuntasan kelas eksperimen 60%, kelas kontrol 40%	Perbedaan waktu belajar (siang vs pagi) memengaruhi minat dan fokus siswa; faktor internal dan eksternal seperti kelelahan dan kesiapan siswa juga berpengaruh
6	Pengembangan E-book Berbasis Collaborative Learning pada Submateri Pencemaran Lingkungan untuk Melatihkan Keterampilan Literasi Sains Siswa Kelas X SMA (Rafidah & Rachmadiarti, 2022)	Jenjang pendidikan yang menjadi sasaran penelitian adalah SMA (Sekolah Menengah Atas), khususnya siswa kelas X.	Strategi pembelajaran yang digunakan adalah Collaborative Learning, yang mendorong kerja kelompok untuk memecahkan masalah, berdiskusi, dan berbagi informasi guna meningkatkan kolaborasi dan literasi sains.	Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (R&D) dengan model 4-D (Define, Design, Develop, Disseminate), namun hanya dilaksanakan hingga tahap Develop.	E-book dinilai sangat valid secara teoritis (97%), memiliki keterbacaan sesuai level siswa kelas X, mendapat respons sangat positif (99,15%), dan efektif melatih tiga indikator literasi sains: penjelasan fenomena, evaluasi penyelidikan, serta interpretasi data ilmiah.	Kekurangan e-book mencakup format penulisan dan keterangan gambar/video yang perlu direvisi. Penelitian dilakukan secara terbatas pada 15 siswa tanpa uji jangka panjang atau diseminasi, sehingga efektivitas skala luas belum terukur.
7	Improving Students' Creative Thinking Skills through the IBSC (Investigation Based Scientific Collaborative Learning Model Based on E-Learning (Lutfiah et al., 2021)	SMA, khususnya kelas XI MIPA 2 di SMA Walisongo Gempol	Model pembelajaran IBSC berbasis e-learning menggunakan Elingo, Zoom, dan WhatsApp, menekankan investigasi kolaboratif (sharing task dan jumping task), komunikasi, kolaborasi, dan pemecahan masalah secara aktif.	Penelitian pre-eksperimental dengan desain One-Group Pre-test–Post-test, melibatkan 27 siswa kelas XI MIPA 2 (purposive sampling). Instrumen meliputi tes, observasi, dan angket, dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan uji Wilcoxon ($\alpha = 0,05$).	Keterampilan berpikir kreatif meningkat signifikan dari 52,4 ke 72,8, hasil belajar kognitif tuntas 100%, dan seluruh siswa (100%) merespons sangat positif terhadap model pembelajaran yang dianggap meningkatkan pemahaman, kreativitas, dan pengalaman belajar.	Penelitian terbatas pada satu kelas (27 siswa), menggunakan desain pre-eksperimental tanpa kelompok kontrol, serta hanya berlangsung selama 3 bulan dan mencakup satu topik, yaitu sistem reproduksi.
8	The Effect of Implementing the Android-Based Jire Collaborative Learning Model	SMA, khususnya kelas X IPA 1–4 di SMA Negeri 6	Model pembelajaran kolaboratif Jire berbasis Android mengintegrasikan pembelajaran	Penelitian kuasi-eksperimen dengan desain One-Group Pretest–Posttest,	Rata-rata N-Gain seluruh kelas tergolong tinggi ($> 0,70$), menunjukkan peningkatan hasil belajar yang	Waktu pelaksanaan yang terbatas mengakibatkan tidak semua sintaks pembelajaran dapat diterapkan sejak awal,

No	Bibliografis	Jenjang Pendidikan	Strategi Pembelajaran	Metode	Temuan Utama	Tantangan/Keterbatasan
	on Momentum and Impulse Materials to Improve Student Learning Outcomes (Ntobuo et al., 2023)	Gorontalo Utara	kolaboratif dengan media offline, fokus pada peningkatan partisipasi aktif, pembagian tugas (sharing task), dan pembangunan pengetahuan mandiri siswa.	melibatkan 4 kelas (X IPA 1 sebagai eksperimen, X IPA 2–4 sebagai replika). Instrumen mencakup tes hasil belajar, observasi guru, dan angket siswa, dengan analisis menggunakan uji N-Gain untuk mengukur peningkatan hasil belajar.	signifikan. Respons siswa juga berada pada kategori baik hingga sangat baik, mencerminkan antusiasme tinggi terhadap model pembelajaran.	seperti re-teaching yang belum dilakukan di pertemuan pertama. Selain itu, model Jire memerlukan waktu relatif lama, sehingga perlu penyesuaian dengan alokasi waktu kelas.
9	Problem-Based Learning-Collaboration (PBL-C) Model in Elementary School Science Learning in the Industrial Revolution Era 4.0 and Indonesia Society 5.0 (Sajidan et al., 2022)	Penelitian dilakukan pada jenjang Sekolah Dasar (SD), melibatkan 20 guru dari 10 SD di Surakarta, Indonesia.	PBL-C adalah pengembangan model PBL yang menekankan kolaborasi (Revolusi Industri 4.0) dan koordinasi dengan pihak luar (Society 5.0), melalui enam langkah: orientasi masalah, organisasi belajar, investigasi tokoh masyarakat, pembuktian hasil, presentasi karya, serta evaluasi dan refleksi.	Penelitian kualitatif deskriptif melalui FGD open inquiry terhadap 20 guru SD menganalisis persepsi guru terkait implementasi PBL dan kebutuhan akan model pembelajaran kolaboratif.	Guru SD menilai PBL efektif dalam mendorong aktivitas belajar, berpikir kritis, dan keterlibatan siswa, namun pelaksanaannya belum optimal karena masih banyak siswa pasif, pembagian tugas kurang jelas, dan minim keterlibatan pihak luar. Model PBL-C dikembangkan sebagai solusi dengan dampak positif pada keterampilan kolaboratif, tanggung jawab individu, koordinasi dengan masyarakat, serta kemampuan komunikasi, presentasi, dan refleksi diri.	Implementasi PBL masih terbatas pada kerja kelompok tanpa melibatkan komunitas, siswa belum terbiasa dengan investigasi lapangan dan koordinasi eksternal, serta banyak guru belum siap menerapkan pembelajaran kolaboratif berbasis Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0. Penelitian juga masih eksploratif dan terbatas pada guru di Surakarta tanpa uji kuantitatif efektivitas model PBL-C terhadap hasil belajar siswa.
10	Development of Problem-Solving Abilities in Science by Inquiry-Based Learning With Cooperative Learning for Grade 4 Students (Sukontawaree et al., 2022)	Sekolah Dasar (SD), kelas 4	nquiry-Based Learning (IBL) mendorong siswa membangun pengetahuan melalui pertanyaan dan investigasi, sedangkan Cooperative Learning (CL) menekankan kerja sama kelompok, diskusi, dan presentasi hasil secara kolaboratif.	Penelitian ini merupakan action research dengan dua siklus PAOR (Plan–Act–Observe–Reflect), melibatkan 7 siswa kelas 4 yang dipilih dari 20 siswa berdasarkan tes penempatan. Instrumen yang digunakan meliputi rencana pembelajaran,	Setelah siklus 1, hanya 14,3% siswa mencapai nilai memuaskan, namun meningkat menjadi 57,1% setelah siklus 2 dengan perbaikan pembelajaran. Rata-rata skor naik dari 50% menjadi 71,43%, dan siswa menunjukkan kepuasan tinggi terhadap pembelajaran yang interaktif dan berbasis pengalaman langsung.	Hambatan pada siklus 1 meliputi kurangnya komunikasi antar siswa, keterbatasan alat sains, dan rendahnya kepercayaan diri saat presentasi. Siswa juga masih bergantung pada bimbingan aktif guru untuk menjalankan cooperative learning secara efektif. Selain itu, ukuran sampel yang kecil (7 siswa) membatasi generalisasi hasil penelitian.

No	Bibliografis	Jenjang Pendidikan	Strategi Pembelajaran	Metode	Temuan Utama	Tantangan/Keterbatasan
				tes kemampuan pemecahan masalah, dan kuesioner kepuasan.		
11	Developing Inquiry Learning Characteristics of Grade 7 Students Using Integrated 5E's of Inquiry-Based Learning and Game-Based Learning (Thangjai & Worapun, 2022)	Sekolah menengah pertama (Grade 7/SMP kelas 1)	Integrasi 5E's Inquiry-Based Learning (Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate) dan Game-Based Learning (GBL) untuk meningkatkan motivasi, perhatian, kemandirian, dan usaha belajar siswa.	Penelitian ini merupakan penelitian tindakan kelas (PTK) dalam dua siklus (planning, acting, observing, reflecting), dengan subjek 8 siswa kelas 7 di Thailand yang dipilih secara purposive karena memiliki karakteristik belajar inkuiri yang rendah. Instrumen yang digunakan meliputi RPP berbasis model 5E + Game-Based Learning (GBL), lembar observasi, dan wawancara.	Hasil penelitian menunjukkan peningkatan karakteristik pembelajaran inkuiri siswa dari 68,26% pada siklus 1 menjadi 76,63% pada siklus 2. Siswa juga mengalami peningkatan dalam motivasi, perhatian, usaha belajar, dan kemandirian. Integrasi model 5E dengan Game-Based Learning terbukti efektif dalam mengembangkan karakter belajar inkuiri siswa.	Penelitian menghadapi beberapa kendala, antara lain keterbatasan waktu pelaksanaan, perlunya penyesuaian aktivitas dan pengelompokan siswa, serta rendahnya pemahaman awal siswa terhadap prosedur pembelajaran. Selain itu, penelitian hanya melibatkan 8 siswa, sehingga hasilnya memiliki keterbatasan dalam hal generalisasi.
12	Problem-Based Learning Models: Their Effectiveness in Improving Creative Thinking Skills of Students with Different Academic Skills in Science Learning (Suciati et al., 2023)	Penelitian dilakukan pada 96 siswa kelas VII SMP sebagai subjek penelitian.	Tiga model PBL yang digunakan yaitu SPS (berbasis langkah Polya), CPS (berbasis kreativitas Treffinger), dan IPS (pendekatan sistematis-reflektif Bransford & Stein).	Penelitian kuasi-eksperimen dengan desain pretest-posttest non-equivalent control group menggunakan tes uraian berpikir kreatif (16 soal), dianalisis dengan N-Gain dan ANCOVA disertai uji normalitas dan homogenitas.	Model CPS terbukti paling efektif meningkatkan keterampilan berpikir kreatif siswa (N-Gain 71%), unggul dibanding IPS (60%) dan SPS (46%), serta menunjukkan pencapaian tertinggi pada seluruh aspek berpikir kreatif di semua tingkat kemampuan akademik.	Penelitian memiliki keterbatasan implisit, seperti keterbatasan generalisasi (hanya di Kabupaten Solo), durasi intervensi yang tidak dijelaskan, dan fokus terbatas pada keterampilan berpikir kreatif tanpa mengukur aspek lain seperti kolaborasi atau pemecahan masalah kompleks.
13	Science education through project-based learning: a case study (Santos et al., 2023)	SMP (secondary school/lower secondary level)	Project-Based Learning (PBL) dengan pendekatan Inquiry-Based Science Education (IBSE) dan open schooling. Topik berfokus pada isu-isu kesehatan masyarakat dan	Studi kasus dalam konteks proyek PAFSE (Partnerships for Science Education), dengan pendekatan deskriptif kualitatif dan implementasi skenario	Integrasi pendekatan pembelajaran dalam penelitian ini berhasil meningkatkan literasi sains dan kesiapsiagaan komunitas terhadap isu kesehatan. Siswa mampu membangun proyek berbasis bukti ilmiah dan mempresentasikannya	Tantangan yang dihadapi dalam pelaksanaan proyek mencakup variasi keterlibatan siswa dan guru, yang menuntut dukungan berkelanjutan. Proyek juga membutuhkan tingkat tanggung jawab dan kemandirian yang tinggi dari siswa.

No	Bibliografis	Jenjang Pendidikan	Strategi Pembelajaran	Metode	Temuan Utama	Tantangan/Keterbatasan
			pembangunan berkelanjutan.	pendidikan berbasis proyek yang dirancang bersama mitra lokal (sekolah, universitas, NGO, dll).	di forum publik. Selain itu, kegiatan ini juga mendorong kolaborasi yang lebih kuat antar pemangku kepentingan dalam pendidikan sains.	Pelatihan guru diperlukan agar PBL dapat diterapkan secara efektif. Selain itu, risiko rendahnya partisipasi publik dan keterlambatan antar bagian proyek diantisipasi melalui strategi mitigasi yang dirancang khusus.
14	Project-based learning in integrated science education: Active teachers' perceptions and practices (Haatainen & Aksela, 2021)	Penelitian bersifat multijenjang, mencakup pendidikan dari PAUD hingga SMA, dan melibatkan guru-guru dari 28 negara yang mewakili berbagai jenjang pendidikan.	Strategi pembelajaran yang digunakan adalah Project-Based Learning (PBL) dalam konteks Integrated Science Education. Pendekatan ini menekankan pembelajaran yang kolaboratif, tematik, berbasis inkuiri, serta relevan dengan dunia nyata dan lintas disiplin (STEAM).	Metode penelitian yang digunakan adalah kualitatif dua tahap: pertama, survei kualitatif daring melalui program internasional StarT yang melibatkan 244 guru dari 28 negara; kedua, studi kasus terhadap 12 unit PBL terpilih dari laporan guru. Fokus penelitian tertuju pada praktik nyata guru serta persepsi mereka terhadap kelebihan dan tantangan dalam penerapan PBL.	Guru menilai bahwa PBL sangat bermanfaat dalam meningkatkan keterlibatan siswa, pemahaman konsep, serta pengembangan keterampilan abad 21 seperti kolaborasi dan berpikir kritis. PBL juga mendukung pembelajaran lintas disiplin dan keterkaitannya dengan kehidupan nyata. Praktik PBL yang efektif mencakup keterlibatan aktif siswa, kerja kolaboratif, penciptaan artefak proyek, serta penggunaan penilaian formatif sepanjang proses pembelajaran.	Penelitian mengidentifikasi variasi dan kekurangan dalam implementasi PBL, terutama dalam aspek penilaian, refleksi, dan pendekatan yang berpusat pada siswa. Kurangnya konsensus global mengenai definisi dan prinsip desain PBL menyulitkan evaluasi kualitas praktik. Guru juga membutuhkan dukungan pelatihan pedagogis untuk merancang dan menilai PBL secara efektif. Selain itu, keterbatasan waktu dan sumber daya menjadi kendala utama dalam pelaksanaan PBL secara optimal.
15	The Effectiveness of Contextual Teaching Learning (CTL) and Problem Based Learning (PBL) Models in Class VI Science Subjects on Creativity and Learning Outcomes (Samsudin et al., 2023)	Penelitian dilakukan pada siswa kelas VI Sekolah Dasar di SDN 1 Tamanrejo, SDN 2 Tamanrejo, dan SDN Trimulyo.	Penelitian membandingkan model CTL, PBL, dan ekspositori (sebagai kontrol) dalam pembelajaran siswa sekolah dasar.	Penelitian true experimental melibatkan 62 siswa dalam dua kelompok eksperimen dan satu kelompok kontrol, menggunakan tes pilihan ganda untuk hasil belajar IPA dan observasi kreativitas siswa, dianalisis dengan One-Way ANOVA dan Paired Sample t-Test.	Model CTL terbukti paling efektif meningkatkan kreativitas belajar ($\uparrow 45,25\%$) dan hasil belajar IPA ($\uparrow 89,18\%$) dibandingkan PBL dan ekspositori, serta mencapai ketuntasan klasikal tertinggi ($85,7\%$) dengan perbedaan pretest-posttest yang signifikan ($p < 0,01$).	Meskipun tidak disebutkan secara eksplisit, keterbatasan penelitian mencakup generalisasi yang terbatas pada siswa kelas VI di satu wilayah, durasi intervensi yang tidak dijelaskan secara rinci, serta potensi subjektivitas dalam penilaian kreativitas berbasis observasi guru.

PEMBAHASAN

Transformasi pembelajaran sains melalui pendekatan deep learning tercermin kuat dalam berbagai intervensi yang dikaji dalam 15 artikel ilmiah. Pembelajaran berbasis proyek seperti STEAM Project-Based Learning (Suryaningsih & Nisa, 2021) dan PjBL (Hamidah & Citra, 2021) menunjukkan kontribusi signifikan dalam peningkatan keterampilan berpikir kritis, kreatif, dan kolaboratif siswa. Hasil belajar yang meningkat secara signifikan dalam konteks kognitif dan afektif mengindikasikan bahwa pembelajaran bermakna (*meaningful learning*) telah terjadi, sebagaimana ditegaskan oleh teori *deep learning* yang menekankan pengolahan informasi secara mendalam dan reflektif (Aini et al., 2025). Penerapan media sosial seperti Instagram dan WhatsApp turut memperkuat dimensi keterlibatan siswa dalam konteks digital (Suryaningsih & Nisa, 2021).

Model pembelajaran berbasis kolaborasi juga mendukung proses deep learning dengan menumbuhkan interaksi sosial yang bermakna, komunikasi dua arah, dan tanggung jawab bersama. Sinaga et al. (2024) dan Rafidah & Rachmadiarti (2022) menunjukkan bahwa kolaboratif learning tidak hanya berdampak pada peningkatan motivasi belajar, tetapi juga secara langsung meningkatkan literasi sains siswa. Penekanan pada proses diskusi, pertukaran ide, dan pemecahan masalah bersama merupakan ciri khas dari pembelajaran mendalam. Model-model ini konsisten dengan temuan Sukardi et al. (2025) yang menyatakan bahwa kerja tim dan diskusi kritis dalam kolaborasi meningkatkan keterhubungan konsep dan retensi jangka panjang.

Integrasi teknologi dalam pembelajaran sains, seperti e-learning dan aplikasi berbasis Android, menciptakan lingkungan belajar yang fleksibel dan adaptif terhadap kebutuhan generasi digital. Model IBSC (Lutfiah et al., 2021) dan model Jire berbasis Android (Ntobuo et al., 2023) menggabungkan pembelajaran berbasis investigasi dan kolaboratif, mendorong siswa mengonstruksi pengetahuan secara mandiri sekaligus saling membimbing. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan dalam kreativitas dan hasil belajar. Hal ini sesuai dengan prinsip konstruktivisme sosial dan konektivisme yang menekankan pentingnya akses terhadap informasi luas, refleksi individual, dan interaksi digital (Meutiawati, 2024).

Transformasi pembelajaran sains melalui pendekatan inkuiri terlihat dari implementasi model 5E Inquiry dan Game-Based Learning (Thangjai & Worapun, 2022) serta integrasi IBL dengan Cooperative Learning (Sukontawaree et al., 2022). Penelitian menunjukkan adanya peningkatan dalam motivasi, usaha belajar, dan kemandirian siswa. Strategi ini sejalan dengan Jannah & Haerudin (2025) yang menekankan peran inkuiri dalam pembelajaran bermakna serta mendorong siswa untuk menjadi pelajar aktif, bukan hanya penerima pasif informasi. Dalam konteks deep learning, pendekatan ini mendorong siswa untuk mengembangkan pemahaman konseptual melalui proses eksplorasi dan refleksi mendalam.

Penelitian Suciati et al. (2023) memperkuat argumentasi bahwa strategi PBL berbasis kreativitas (*Creative Problem Solving*) lebih unggul dibanding model *problem solving* konvensional. Rata-rata N-Gain tertinggi pada model CPS (71%) menunjukkan bahwa pendekatan ini efektif dalam menumbuhkan keterampilan berpikir kreatif seperti *fluency*, *flexibility*, *originality*, dan *elaboration*. Temuan ini selaras dengan pandangan Witono & Hadi (2025) bahwa kreativitas dalam pemecahan masalah kompleks merupakan indikator penting dalam pembelajaran mendalam. Hal ini membuktikan bahwa penerapan pendekatan reflektif dan kreatif secara sistematis merupakan kunci dalam mengembangkan keterampilan abad ke-21 melalui pembelajaran sains.

Transformasi pembelajaran sains juga menuntut adanya integrasi konteks dunia nyata dan partisipasi komunitas, seperti terlihat dalam penelitian Santos et al. (2023) dan Sajidan et al. (2022). Pendekatan open schooling dan model PBL-C melibatkan siswa dalam pemecahan masalah nyata di masyarakat, serta memperkuat keterampilan kolaboratif dan komunikasi lintas sektoral. Pembelajaran berbasis proyek yang melibatkan mitra eksternal terbukti mendorong siswa mengembangkan literasi sains yang aplikatif dan kesadaran sosial. Aspek ini sangat erat kaitannya dengan deep learning, yang menuntut transfer pengetahuan ke situasi nyata.

Meski banyak manfaat, implementasi strategi deep learning menghadapi tantangan seperti keterbatasan waktu, kesiapan guru, dan kurangnya pelatihan pedagogis. Sejumlah artikel,

seperti Santos et al. (2023), Suciati et al. (2023), dan (Samsudin et al., 2023), menyoroti hambatan seperti minimnya keterlibatan siswa awal, waktu intervensi yang tidak memadai, serta penilaian kreativitas yang masih subjektif. Hal ini menunjukkan bahwa untuk mengoptimalkan transformasi pembelajaran sains melalui deep learning, diperlukan dukungan sistemik berupa pelatihan berkelanjutan, perbaikan kurikulum, dan dukungan infrastruktur digital yang memadai.

Secara keseluruhan, hasil kajian menunjukkan bahwa pendekatan deep learning melalui integrasi PBL, IBL, kolaborasi, teknologi, dan kreativitas sangat potensial mentransformasi pembelajaran sains menjadi lebih bermakna, reflektif, dan kontekstual. Namun, kesuksesan strategi ini sangat bergantung pada desain pembelajaran yang matang, kesiapan guru, serta dukungan kebijakan yang memungkinkan fleksibilitas dan inovasi dalam praktik pembelajaran. *Deep learning* membutuhkan keselarasan antara tujuan pembelajaran, strategi pengajaran, dan sistem penilaian. Dengan demikian, transformasi pendidikan sains berbasis deep learning tidak hanya meningkatkan hasil belajar, tetapi juga membentuk siswa yang mampu berpikir kritis dan bertanggung jawab dalam menghadapi tantangan abad ke-21.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian sistematis terhadap 15 artikel ilmiah, dapat disimpulkan bahwa pendekatan deep learning dalam pembelajaran sains terbukti mampu mentransformasi proses belajar menjadi lebih bermakna, reflektif, dan kontekstual. Strategi seperti Project-Based Learning, Inquiry-Based Learning, pembelajaran kolaboratif, serta integrasi teknologi dan kreativitas, secara konsisten meningkatkan hasil belajar, motivasi, literasi sains, dan keterampilan berpikir tingkat tinggi siswa. Namun demikian, penelitian ini juga mengungkap adanya tantangan implementatif, seperti keterbatasan waktu, kesiapan guru, dan kurangnya pelatihan pedagogis. Selain itu, studi yang dianalisis sebagian besar masih berfokus pada jenjang pendidikan tertentu, tidak mencakup evaluasi jangka panjang, dan belum banyak mengeksplorasi dimensi afektif atau integrasi lintas disiplin secara menyeluruh. Oleh karena itu, disarankan bagi penelitian selanjutnya untuk menguji efektivitas deep learning dalam konteks yang lebih luas dan beragam, termasuk keterlibatan masyarakat, evaluasi longitudinal, serta pengembangan model pelatihan guru yang adaptif terhadap kebutuhan abad ke-21.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, N., Syarifudin, S., Mariamah, M., Diana, N., & Muslim, M. (2025). Penerapan media memory game untuk meningkatkan minat dan hasil belajar matematika materi bangun datar siswa kelas IV. *JagoMIPA: Jurnal Pendidikan Matematika Dan IPA*, 5(2), 610–622. <https://doi.org/https://doi.org/10.53299/jagomipa.v5i2.1736>
- Haatainen, O., & Aksela, M. (2021). Project-based learning in integrated science education: Active teachers' perceptions and practices. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 9(1), 149–173. <https://doi.org/https://doi.org/10.31129/LUMAT.9.1.1392>
- Hamidah, I., & Citra, S. Y. (2021). Efektivitas model pembelajaran project based learning (PjBL) terhadap minat dan hasil belajar siswa. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 4(2), 307–314. <https://doi.org/10.31539/bioedusains.v4i2.2870>
- Huda, K., & Djono, D. (2025). Mengintegrasikan teori pembelajaran bermakna dan konstruktivisme dalam pembelajaran sejarah di era digital. *Jurnal Artefak*, 12(1), 137–146. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.25157/ja.v12i1.18462>
- Jannah, G. R., & Haerudin, H. (2025). Upaya meningkatkan minat belajar matematika menggunakan inquiry based learning (IBL). *PHI: Jurnal Pendidikan Matematika*, 9(1), 220–227. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33087/phi.v9i1.465>
- Kurniawan, B., Dwikoranto, D., & Marsini, M. (2023). Implementasi problem based learning untuk meningkatkan pemahaman konsep siswa: Studi pustaka. *Practice of The Science of Teaching Journal: Jurnal Praktisi Pendidikan*, 2(1), 27–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.58362/hafecspost.v2i1.28>
- Lutfiah, I., Suharti, P., & Asy'ari, A. (2021). Improving students' creative thinking skills through the IBSC (investigation based scientific collaborative) learning model based on e-learning. *SEJ (Science Education Journal)*, 5(2), 85–97. <https://doi.org/https://doi.org/10.21070/sej.v5i2.1572>
- Meutiawati, I. (2024). Perspektif koneksionisme terhadap aktivitas belajar di era teknologi digital. *Desultanh-Journal Education and Social Science*, 2(1), 81–100. <https://doi.org/https://doi.org/10.69548/d-jess.v2i1.27>
- Ntobuo, N. E., Amali, L. M. K., Paramata, D. D., & Yunus, M. (2023). The effect of implementing the Android-based Jire collaborative learning model on momentum and impulse materials to improve student learning outcomes. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(2), 491–497. <https://doi.org/https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i2.2924>
- Nurhaliza, S., Yennita, Y., & Fauza, N. (2024). Implementasi model pembelajaran kooperatif berbantuan Spinning Question untuk meningkatkan hasil belajar kognitif siswa. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 4(3), 10616–10626. <https://doi.org/https://doi.org/10.31004/innovative.v4i3.11477>
- Rafidah, H. N., & Rachmadiarti, F. (2022). Pengembangan e-book berbasis collaborative learning pada submateri pencemaran lingkungan untuk melatih keterampilan literasi sains kelas X SMA. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 11(2), 418–433. <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/bioedu.v11n2.p418-433>

- Rina Rahayu, & Riva Ismawati. (2022). Efektifitas Online Project Based Learning Berbasis Ethnosains Pada Pembelajaran IPA terhadap Keterampilan Proses Sains Mahasiswa Selama Pandemi. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 12(4), 1065–1071. <https://doi.org/https://doi.org/10.37630/jpm.v12i4.738>
- Sajidan, S., Suranto, S., Atmojo, I. R. W., Saputri, D. Y., & Etviana, R. (2022). Problem-based learning-collaboration (PBL-C) model in elementary school science learning in the industrial revolution era 4.0 and Indonesia society 5.0. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 11(3), 477–488. <https://doi.org/https://doi.org/10.15294/jpii.v11i3.30631>
- Sakina, Hapidin, & Nurani, Y. (2025). Early childhood science literacy through project learning using loose parts. *PAUDIA: Jurnal Penelitian Dalam Bidang Pendidikan Anak Usia Dini*, 14, 159–173. <https://doi.org/https://doi.org/10.26877/paudia.v14i1.1156>
- Samsudin, A., Raharjo, T. J., & Widiasih. (2023). The effectiveness of contextual teaching learning (CTL) and problem based learning (PBL) models in class VI science subjects on creativity and learning outcomes. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(11), 9324–9331. <https://doi.org/https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i11.5290>
- Santos, C., Rybska, E., Klichowski, M., Jankowiak, B., Jaskulska, S., Domingues, N., Carvalho, D., Rocha, T., Paredes, H., Martins, P., & Rocha, J. (2023). Science education through project-based learning: A case study. *Procedia Computer Science*, 219, 1713–1720. <https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050923004775?via%3Dihub>
- Saputra, D., Simanjuntak, R. E., Sinulingga, W. A., & Koto, I. (2025). Perbandingan paradigma kurikulum sains di Indonesia dan Spanyol: Struktur, pendekatan, dan inovasi pembelajaran abad ke-21. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 5(2), 1569–1576. <https://doi.org/https://doi.org/10.54082/jupin.1451>
- Sinaga, A. A., Naibaho, F. R., Sitanggang, R., Harefa, S., & Widiastuti, M. (2024). Pengaruh model pembelajaran collaborative learning terhadap motivasi belajar PAK siswa kelas VII SMP Negeri 1 Sipoholon tahun pembelajaran 2023/2024. *Jurnal Budi Pekerti Agama Kristen Dan Katolik*, 2(3), 138–148. <https://doi.org/https://doi.org/10.61132/jbpakk.v2i3.659>
- Suciati, S., Silvita, S., Prasetyo, O., Fauziah, M. D., Santika, K. D., Norawi, A. M., & Rahman, H. T. (2023). Problem-based learning models: Their effectiveness in improving creative thinking skills of students with different academic skills in science learning. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 12(4), 672–683. <https://doi.org/https://doi.org/10.15294/jpii.v12i4.44752>
- Sukardi, R. H., Turhan, M., & Sarmini. (2025). Penggunaan metode mind mapping dalam meningkatkan pemahaman konsep dan retensi belajar siswa: Kajian literatur. *Didaktika: Jurnal Kependidikan*, 14(1), 1249–1258. <https://doi.org/https://doi.org/10.58230/27454312.1905>
- Sukontawaree, N., Poonputta, A., & Prasitnok, O. (2022). Development of problem-solving abilities in science by inquiry-based learning with cooperative learning for grade 4 students. *Journal of Educational Issues*, 8(2), 771–782. <https://doi.org/https://doi.org/10.5296/jei.v8i2.20418>

- Suryaningsih, S., & Nisa, F. A. (2021). Kontribusi STEAM project based learning dalam mengukur keterampilan proses sains dan berpikir kreatif siswa. *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 2(6), 1097–1111.
- Thangjai, N., & Worapun, W. (2022). Developing inquiry learning characteristics of grade 7 students using integrated 5E's of inquiry-based learning and game-based learning. *Journal of Educational Issues*, 8(1), 137–150. <https://doi.org/https://doi.org/10.5296/jei.v8i1.19547>
- Witono, S., & Hadi, M. S. (2025). Numerasi dan kemampuan berpikir kreatif pada pembelajaran matematika di sekolah dasar. *JiIP-Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 8(3), 2489–2496. <https://doi.org/https://doi.org/10.54371/jiip.v8i3.7180>