



Implementasi Pembelajaran Mendalam Terintegrasi STEM melalui Purwarupa Hidrolik di Sekolah Menengah Pertama

Hesti Herliantari

Sekolah Menengah Pertama Negeri 13 OKU, Sumatera Selatan Indonesia

Correspondence Email: hestiherliantari01@gmail.com

Article Info

Received: March 13, 2026

Accepted: May 23, 2026

Published: July 30, 2026

Keywords

Deep Learning;
STEM;
Hydraulic Prototype;
Creative Thinking;
Junior High School.

Abstract

Science learning in junior high school often emphasizes conceptual mastery, while students' creative thinking skills remain underdeveloped due to limited authentic, problem-solving learning experiences. This study aimed to analyze the effect of implementing deep learning integrated with STEM through a hydraulic prototype project on students' creative thinking ability. A quantitative approach with a pre-experimental one-group pretest-posttest design was conducted among 22 ninth-grade students. The main instrument was an essay-based creative thinking test covering fluency, flexibility, originality, and elaboration, supported by an observation sheet documenting students' activities during the engineering stages. Data were analyzed using descriptive statistics, normalized gain, and a paired t-test because the data were normally distributed. The results showed that the mean score increased from 31.27 (SD=5.05) to 85.18 (SD=2.66) with a statistically significant difference ($p<0.001$). The normalized gain was 0.78 (78%), indicating a high improvement. Observational findings also indicated active student engagement during designing, constructing, testing, and refining the hydraulic prototype. In conclusion, deep learning integrated with STEM through a hydraulic prototype project is effective in enhancing junior high school students' creative thinking ability.

Kata Kunci	Abstrak
Pembelajaran Mendalam; STEM; Purwarupa Hidrolik; Berpikir Kreatif; Sekolah Menengah Pertama.	Pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam di Sekolah Menengah Pertama masih cenderung menekankan penguasaan konsep, sementara kemampuan berpikir kreatif peserta didik belum berkembang optimal karena terbatasnya pengalaman belajar autentik berbasis pemecahan masalah. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh implementasi pembelajaran mendalam terintegrasi STEM melalui proyek purwarupa hidrolik terhadap kemampuan berpikir kreatif peserta didik. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain pra-eksperimental one-group pretest–posttest pada 22 peserta didik kelas IX. Instrumen utama berupa tes esai kemampuan berpikir kreatif yang mencakup fluency, flexibility, originality, dan elaboration, serta lembar observasi aktivitas peserta didik selama tahapan engineering. Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif, perhitungan N-Gain, dan uji t berpasangan karena data berdistribusi normal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata meningkat dari 31,27 (SD = 5,05) menjadi 85,18 (SD = 2,66) dengan perbedaan yang signifikan secara statistik ($p < 0,001$). Nilai N-gain sebesar 0,78 (78%) menunjukkan peningkatan yang berada pada kategori tinggi. Observasi memperlihatkan peserta didik aktif pada tahap perancangan, pembuatan, pengujian, dan perbaikan purwarupa. Simpulan penelitian menunjukkan pembelajaran mendalam terintegrasi STEM melalui proyek purwarupa hidrolik efektif meningkatkan kemampuan berpikir kreatif peserta didik Sekolah Menengah Pertama.

A. Pendahuluan

Pendidikan sains abad ke-21 menuntut peserta didik memiliki kemampuan berpikir kreatif sebagai kompetensi penting dalam menghadapi perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan tantangan global yang semakin kompleks (Sayadi & Pangandaman, 2025). Kemampuan berpikir kreatif peserta didik masih perlu ditingkatkan karena selain bagian penting keterampilan abad ke-21 tetapi juga berperan dalam keberhasilan pembelajaran sains (Effendi et al., 2024; Prastiwi & Yulianto, 2024). Praktik pembelajaran IPA di sekolah masih didominasi pendekatan tradisional yang kurang optimal dalam menstimulus daya cipta peserta didik sehingga kesempatan peserta didik mengembangkan kreativitas relatif terbatas (Komalasari et al., 2025; Ningtyas & Suprpto, 2025). Kesenjangan antara harapan pembelajaran IPA abad ke-21 dan realitas pembelajaran di kelas menunjukkan perlunya perhatian lebih terhadap strategi pembelajaran yang mampu menumbuhkan kreativitas peserta didik.

Pembelajaran IPA perlu diarahkan sebagai proses yang mendorong peserta didik untuk bertanya, mengeksplorasi, menghasilkan ide, dan memecahkan masalah secara ilmiah. Pelaksanaan Pembelajaran IPA pada jenjang SMP diharapkan tidak hanya

menekankan penguasaan konsep, tetapi juga pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi melalui aktivitas eksplorasi, inovasi, dan pemecahan masalah berbasis sains (Nurazizah et al., 2025). Kemampuan berpikir kreatif peserta didik masih berada pada kategori rendah hingga sedang sehingga memerlukan strategi pembelajaran inovatif yang mampu menstimulasi eksplorasi ide dan pemecahan masalah secara kreatif (Irman et al., 2025). Temuan tersebut menggambarkan bahwa rendahnya kemampuan berpikir kreatif bukan hanya menjadi persoalan capaian belajar, tetapi juga mencerminkan perlunya perubahan arah pembelajaran IPA menuju proses yang lebih aktif, reflektif, dan eksploratif. Pembelajaran IPA memerlukan pendekatan yang tidak hanya mengajarkan konsep, tetapi juga memberi kesempatan kepada peserta didik untuk mengalami proses berpikir kreatif secara langsung dalam konteks yang bermakna (Suherman et al., 2025).

Salah satu pendekatan yang relevan untuk menjawab kebutuhan tersebut adalah pembelajaran mendalam (Deng et al., 2024; Tacoh, 2023). Pembelajaran mendalam merupakan pendekatan yang menekankan pemahaman konseptual yang kuat, keterkaitan antar konsep, keterlibatan aktif peserta didik, refleksi, serta kemampuan mengaplikasikan pengetahuan pada situasi nyata, bukan sekadar menghafal informasi (Wibawa et al., 2025). Pembelajaran mendalam merupakan proses belajar yang mendorong peserta didik untuk belajar secara bermakna, berkesadaran, dan menyenangkan sehingga mereka memperoleh pengetahuan yang lebih tahan lama (Ying Gao, 2025). Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran mendalam memiliki kesesuaian dengan kebutuhan pembelajaran IPA yang menuntut peserta didik memahami konsep sekaligus mengembangkan cara berpikir yang lebih reflektif dan kreatif. Pembelajaran mendalam juga ditujukan untuk membentuk pembelajar sepanjang hayat yang mampu mentransfer pengetahuan ke situasi baru (Rahmawati et al., 2025). Pembelajaran mendalam memiliki potensi besar dalam mengembangkan kemampuan berpikir kreatif peserta didik karena pendekatan ini mendorong mereka untuk memahami, mengevaluasi, dan mengonstruksi pengetahuan melalui pengalaman belajar yang aktif dan reflektif (Dewi et al., 2025; Sari et al., 2025).

Pendekatan pembelajaran mendalam memegang peran strategis dalam menjawab tantangan pendidikan masa depan, keberhasilannya bergantung pada integrasi teknologi yang bijaksana dan kolaboratif untuk pembelajaran yang adaptif (Prihantini et al., 2025). Integrasi pengembangan pedagogi dan profesional guru juga dapat menjadi salah satu sarana penting dalam mengembangkan pembelajaran mendalam (Levin, 2024). Temuan ini menegaskan bahwa pembelajaran mendalam tidak dapat dipahami hanya sebagai

pendekatan instruksional, tetapi juga sebagai strategi pedagogis yang membutuhkan kesiapan guru, dukungan teknologi, dan desain pembelajaran yang berorientasi pada aktivitas berpikir tingkat tinggi. Beberapa penelitian menunjukkan pendekatan pembelajaran mendalam mampu meningkatkan kreativitas, kemampuan berpikir kritis, serta pemecahan masalah melalui pembelajaran yang menekankan pemahaman dan aplikasi konsep dibanding hafalan semata (Ambarita et al., 2025; Daud, 2021; Nurazizah et al., 2025). Penerapan pembelajaran mendalam juga dapat meningkatkan keterlibatan siswa, memperkuat pemahaman materi, dan mendorong pembentukan pola pikir kreatif, kritis serta siap menghadapi tantangan global (Isnayanti et al., 2025; Sudarmono, 2025).

Pembelajaran mendalam menjadi semakin relevan ketika dipadukan dengan pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) (Durnali & Gökbulut, 2025). STEM sebagai strategi yang efektif dalam meningkatkan kualitas pembelajaran sains karena mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu ke dalam aktivitas desain, eksperimen, dan pemecahan masalah nyata. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran STEM dapat meningkatkan kreativitas peserta didik melalui pengalaman *hands-on*, kegiatan proyek, dan proses *engineering design* yang menuntut peserta didik menghasilkan solusi secara kolaboratif dan inovatif (Chen et al., 2024). Keterpaduan antara pembelajaran mendalam dan STEM menjadi penting karena keduanya sama-sama menempatkan peserta didik sebagai subjek aktif yang membangun pemahaman melalui eksplorasi, rekayasa, dan penyelesaian masalah berbasis konteks nyata. Integrasi pembelajaran mendalam dengan STEM menjadi penting karena keduanya sama-sama menekankan keterlibatan aktif peserta didik, pengembangan pemahaman konseptual, dan penyelesaian masalah autentik (Suherman et al., 2025; Widyawati, 2025).

Integrasi pembelajaran mendalam dan STEM dapat diwujudkan melalui kegiatan proyek yang dekat dengan konsep sains yang dipelajari peserta didik. Salah satu bentuk implementasi yang relevan adalah proyek purwarupa hidrolik pada materi tekanan zat cair dan Hukum Pascal (Irawan et al., 2026). Proyek purwarupa hidrolik diposisikan sebagai media pembelajaran yang menjembatani konsep abstrak tekanan zat cair dengan pengalaman rekayasa yang konkret, sehingga peserta didik dapat membangun pemahaman ilmiah melalui proses kreatif dan reflektif. Aktivitas merancang, membuat, menguji, dan memperbaiki purwarupa hidrolik memungkinkan peserta didik memahami konsep fluida secara aplikatif sekaligus mengembangkan kreativitas melalui eksplorasi desain, pemecahan masalah teknis, dan inovasi produk berbasis prinsip ilmiah (Amri et

al., 2024; Dirgantara et al., 2026). Pembelajaran STEM ini diintegrasikan dengan pembelajaran mendalam sehingga peserta didik memiliki kesempatan mengamati, mengaplikasi pada tahap rekayasa dan merefleksikan hasil sehingga pembelajaran menjadi lebih berkesadaran dan bermakna. Selaras dengan karakteristik pembelajaran mendalam peserta didik tidak hanya menerima informasi, tetapi membangun pemahaman melalui pengalaman nyata, refleksi, dan keterlibatan langsung dalam proses rekayasa (Xu et al., 2026).

Secara teoretis, penelitian ini didasarkan pada integrasi tiga kerangka utama, yaitu teori pembelajaran mendalam, pendekatan STEM, dan kemampuan berpikir kreatif. Pembelajaran mendalam menekankan proses belajar yang bermakna (*meaningful learning*), peserta didik tidak hanya menghafal konsep, tetapi juga memahami, merefleksikan, dan mengaplikasikan pengetahuan dalam konteks nyata (Levin, 2024). Pendekatan STEM juga berlandaskan pada *experiential learning* yakni peserta didik sebagai subjek aktif dalam proses rekayasa, eksperimen, dan pemecahan masalah melalui aktivitas berbasis proyek (Yue Gao & Fan, 2022). Integrasi kerangka tersebut memberikan landasan konseptual bahwa kemampuan berpikir kreatif dapat dikembangkan melalui pengalaman belajar yang menghubungkan pemahaman konsep, aktivitas rekayasa, refleksi, dan penciptaan solusi. Integrasi kedua pendekatan pembelajaran mendalam dan STEM memungkinkan terjadinya konstruksi pengetahuan secara aktif sekaligus memberikan pengalaman belajar autentik yang mendukung perkembangan berpikir kreatif (Astawan et al., 2023). Kemampuan berpikir kreatif mengacu pada dimensi *fluency*, *flexibility*, *originality*, dan *elaboration* sebagaimana dikembangkan dalam kerangka Torrance serta diperkuat dalam asesmen PISA 2022, yang menekankan eksplorasi ide, evaluasi solusi, dan kemampuan memodifikasi gagasan secara reflektif (PISA, 2024). Secara konseptual, pembelajaran mendalam yang diintegrasikan dengan STEM melalui proyek rekayasa dipandang sebagai strategi yang mampu mendorong terbentuknya kemampuan berpikir kreatif peserta didik (Suherman et al., 2025).

Hasil pengamatan peneliti selama melaksanakan pembelajaran IPA di sekolah, menunjukkan adanya kecenderungan pembelajaran berorientasi pada transfer pengetahuan konseptual dengan aktivitas praktik yang terbatas sehingga kurang memberikan pengalaman belajar autentik yang dapat menstimulasi kreativitas peserta didik. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara tujuan ideal pendidikan sains dengan realitas pembelajaran di kelas, khususnya yang terintegrasi dengan pendekatan STEM

berbasis proyek rekayasa sederhana masih relatif terbatas. Pengembangan purwarupa hidrolik sebagai proyek STEM merupakan salah satu inovasi pembelajaran yang relevan dengan materi tekanan zat cair dan Hukum Pascal pada kelas IX SMP.

Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa pembelajaran mendalam maupun pendekatan STEM berkontribusi positif terhadap kreativitas, kemampuan berpikir kritis, dan pemecahan masalah peserta didik, akan tetapi kajian yang secara khusus mengintegrasikan pembelajaran mendalam dengan STEM melalui proyek purwarupa hidrolik pada materi tekanan zat cair dan Hukum Pascal di tingkat SMP masih terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu cenderung menelaah pembelajaran STEM secara umum atau *project-based learning* tanpa menegaskan bagaimana karakteristik pembelajaran mendalam berperan dalam membangun pemahaman konseptual sekaligus kemampuan berpikir kreatif peserta didik dalam konteks rekayasa sederhana. Bukti empiris pada konteks pembelajaran IPA SMP di Indonesia yang menguji efektivitas integrasi pembelajaran mendalam dan STEM melalui produk nyata yang dirancang, diuji, dan diperbaiki secara sistematis masih terbatas. Novelty penelitian ini terletak pada pengujian implementasi pembelajaran mendalam terintegrasi STEM melalui proyek purwarupa hidrolik untuk meningkatkan kemampuan berpikir kreatif peserta didik SMP.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh implementasi pembelajaran mendalam terintegrasi STEM melalui proyek purwarupa hidrolik terhadap kemampuan berpikir kreatif peserta didik SMP. Fokus tersebut dipilih karena integrasi pembelajaran mendalam dan STEM melalui proyek rekayasa dinilai relevan untuk menghadirkan pengalaman belajar IPA yang aktif, kontekstual, reflektif, dan aplikatif. Selain itu, rancangan pembelajaran ini sejalan dengan prinsip pembelajaran mendalam yang menekankan proses belajar berkesadaran, karena peserta didik terlibat secara aktif dalam memahami tujuan dan proses belajar juga bermakna, karena konsep tekanan zat cair dan Hukum Pascal dihubungkan dengan pengalaman rekayasa nyata, serta menggembirakan, karena peserta didik memperoleh kesempatan belajar melalui eksplorasi, kolaborasi, dan penciptaan produk. Penelitian ini diharapkan dapat memperkuat arah pembelajaran IPA yang tidak hanya berorientasi pada pencapaian kemampuan kognitif berpikir kreatif, tetapi juga pada pengembangan kreativitas peserta didik melalui pengalaman belajar autentik yang bermakna dan menyenangkan.

B. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain pra-eksperimental one-group pretest-posttest, yaitu satu kelompok peserta didik diukur kemampuan berpikir kreatifnya sebelum intervensi (pretest) dan sesudah intervensi (posttest) tanpa kelompok pembandingan (Creswell, 2023). Pemilihan desain ini selaras dengan tujuan studi yang berfokus pada identifikasi perubahan kemampuan berpikir kreatif setelah penerapan pembelajaran mendalam terintegrasi STEM melalui proyek purwarupa hidrolik dalam konteks kelas nyata. Desain ini juga memungkinkan peneliti memperoleh gambaran awal mengenai efektivitas intervensi pembelajaran dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif peserta didik melalui perbandingan skor sebelum dan sesudah perlakuan.

Populasi penelitian adalah peserta didik kelas IX SMP yang sedang mempelajari materi IPA terkait tekanan zat cair dan Hukum Pascal. Sampel penelitian berjumlah 22 peserta didik yang mengikuti rangkaian pembelajaran pada kelas yang sama. Teknik pengambilan sampel menggunakan purposive sampling (Sugiyono, 2016). Kriteria inklusi ditetapkan agar peserta didik terlibat secara penuh, yaitu terdaftar sebagai peserta didik aktif pada kelas penelitian, hadir saat *pretest* dan *posttest*, serta mengikuti proses pembelajaran proyek minimal sesuai durasi yang direncanakan. Peserta didik yang tidak mengikuti salah satu sesi pengukuran atau tidak menyelesaikan rangkaian kegiatan proyek secara memadai dipertimbangkan sebagai eksklusi untuk menjaga konsistensi interpretasi perubahan skor.

Instrumen utama penelitian adalah tes kemampuan berpikir kreatif berbentuk 10 soal uraian (esai) yang dirancang untuk mengukur empat indikator kreativitas, yaitu *fluency*, *flexibility*, *originality*, dan *elaboration*. Bentuk esai dipilih karena lebih mampu menangkap keluasan ide, variasi strategi, kebaruan gagasan, dan kedalaman penjelasan peserta didik dibanding bentuk objektif, sehingga sesuai dengan konstruk kreativitas yang bersifat divergen. Kisi-kisi soal dikembangkan berdasarkan indikator tiap dimensi dan diselaraskan dengan konteks konsep tekanan zat cair serta penerapan Hukum Pascal melalui alat hidrolik sederhana, sehingga respons peserta didik mengandung aspek konseptual sekaligus aspek rekayasa. Skoring jawaban menggunakan pedoman penilaian yang menetapkan kriteria untuk masing-masing indikator (misalnya jumlah ide dan relevansi untuk *fluency*, variasi pendekatan untuk *flexibility*, kebaruan dan ketidaklaziman solusi untuk *originality*, serta kelengkapan dan kerincian penjelasan untuk *elaboration*). Untuk memperkuat keandalan penilaian, penilaian dilakukan secara konsisten menggunakan

rubrik yang sama pada *pretest* dan *posttest*, serta dilakukan pengecekan ulang skor pada sebagian jawaban untuk meminimalkan bias penilai.

Instrumen penelitian terlebih dahulu diuji validitas dan reliabilitasnya sebelum digunakan dalam pengumpulan data (Hair Jr et al., 2010). Uji validitas dilakukan terhadap 10 butir pertanyaan pada 20 responden. Hasil uji Validitas dapat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji validitas instrumen kemampuan berpikir kreatif

Item Pernyataan	r hitung	r tabel (n=20)	Keterangan
Item 1	0,612	0,444	Valid
Item 2	0,587	0,444	Valid
Item 3	0,645	0,444	Valid
Item 4	0,701	0,444	Valid
Item 5	0,559	0,444	Valid
Item 6	0,673	0,444	Valid
Item 7	0,628	0,444	Valid
Item 8	0,591	0,444	Valid
Item 9	0,684	0,444	Valid
Item 10	0,736	0,444	Valid

Berdasarkan hasil uji validitas dengan menggunakan korelasi Product Moment Pearson, diperoleh nilai r tabel sebesar 0,444 pada taraf signifikansi 5% dengan derajat kebebasan ($df = n - 2 = 18$). Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh butir instrumen memiliki nilai r hitung lebih besar dari r tabel (0,444), sehingga seluruh item dinyatakan valid (Tabel 1). Hasil uji reliabilitas menunjukkan nilai Cronbach’s alpha sebesar 0,890, yang menandakan bahwa instrumen memiliki tingkat reliabilitas yang baik (Creswell, 2023). Berdasarkan hasil tersebut, instrumen dinyatakan layak digunakan untuk mengukur kemampuan berpikir kreatif peserta didik dalam penelitian ini.

Kisi-kisi instrumen tes *pretest* dan *posttest* kemampuan berpikir kreatif dikembangkan dalam bentuk soal esai yang mencakup dimensi dan indikator berpikir kreatif disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kisi-kisi instrumen *pretest* dan *posttest* kemampuan berpikir kreatif

Dimensi Berpikir Kreatif	Indikator	Bentuk Soal	No Soal
Keterampilan berpikir lancar (<i>fluency</i>)	Disajikan permasalahan tentang tekanan zat cair dalam kehidupan sehari-hari. Peserta didik mampu menghasilkan beberapa ide atau solusi berbeda terkait penerapan	Esai	1,2

Dimensi Berpikir Kreatif	Indikator	Bentuk Soal	No Soal
Keterampilan berpikir rinci (<i>elaboration</i>)	prinsip tekanan zat cair atau hukum Pascal. Disajikan kasus penggunaan prinsip hukum Pascal pada alat hidrolik sederhana. Peserta didik mampu menjelaskan konsep tekanan zat cair secara rinci, termasuk hubungan gaya, luas penampang, dan tekanan serta penerapannya.	Esai	3,4,5
Keterampilan berpikir orisinal (<i>originality</i>)	Disajikan situasi masalah tentang aplikasi tekanan zat cair. Peserta didik mampu merancang ide atau gagasan kreatif berupa alat sederhana berbasis hukum Pascal yang belum umum digunakan.	Esai	6,7
Keterampilan berpikir luwes (<i>flexibility</i>)	Disajikan permasalahan tentang penerapan tekanan zat cair atau hukum Pascal. Peserta didik mampu mengemukakan berbagai alternatif solusi atau pendekatan berbeda dalam menyelesaikan masalah tersebut.	Esai	8,9,10

Tabel 2 menunjukkan instrumen *pretest* dan *posttest* disusun untuk mengukur kemampuan berpikir kreatif peserta didik secara komprehensif melalui empat dimensi utama, yaitu *fluency*, *elaboration*, *originality*, dan *flexibility*. Setiap dimensi dihubungkan dengan konteks materi tekanan zat cair dan Hukum Pascal agar peserta didik tidak hanya menjawab berdasarkan hafalan konsep, tetapi juga mampu menunjukkan kemampuan menghasilkan ide, mengembangkan penjelasan, merancang gagasan baru, dan menawarkan berbagai alternatif solusi. Kisi-kisi instrumen ini menjadi dasar penting dalam memastikan bahwa pengukuran kemampuan berpikir kreatif selaras dengan tujuan pembelajaran mendalam terintegrasi STEM melalui proyek purwarupa hidrolik.

Peneliti menggunakan lembar observasi aktivitas peserta didik selama pembelajaran mendalam terintegrasi STEM. Lembar observasi digunakan untuk mendokumentasikan keterlibatan peserta didik dalam tahapan proyek *engineering* (perancangan, pembuatan, pengujian, dan perbaikan), kolaborasi kelompok, ketekunan menyelesaikan masalah, serta aktivitas reflektif yang muncul selama proses. Penggunaan instrumen observasi dibenarkan karena peningkatan kemampuan kreatif tidak hanya tercermin pada skor tes, tetapi juga tampak pada dinamika proses belajar yang mengaktifkan eksplorasi ide, diskusi, dan pengambilan keputusan desain. Selain itu, dokumentasi proses dan produk

purwarupa hidrolik digunakan sebagai data pelengkap untuk memverifikasi keterlaksanaan intervensi dan kualitas implementasi proyek.

Prosedur penelitian meliputi tahap persiapan, pelaksanaan, dan evaluasi pembelajaran. Pada tahap persiapan, peneliti menyusun perangkat pembelajaran mendalam berbasis STEM, lembar kerja proyek purwarupa hidrolik, serta instrumen pengukuran kemampuan berpikir kreatif. Tahap pelaksanaan meliputi pembelajaran berbasis proyek engineering melalui perancangan, pembuatan, dan pengujian purwarupa hidrolik secara berkelompok. Tahap evaluasi dilakukan melalui pengukuran kemampuan berpikir kreatif setelah pembelajaran serta observasi aktivitas peserta didik selama proses pembelajaran. Tahapan penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Analisis data dilakukan secara kuantitatif menggunakan analisis peningkatan skor berpikir kreatif dan statistik deskriptif untuk menggambarkan proses implementasi pembelajaran (Sugiyono, 2016). Hasil *pretest* dan *posttest* pada kelas eksperimen dihitung nilai rata-rata *pretest-posttest*, kemudian dilakukan uji nilai *N-gain* (*Normalized gain*) untuk mengetahui pengaruh implementasi pembelajaran mendalam STEM. Selanjutnya dilakukan uji prasyarat normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk* pada data berpasangan, dan hasil menunjukkan data berdistribusi normal. Pengujian perbedaan skor *pretest* dan *posttest* dilakukan menggunakan uji *t* berpasangan (*Paired t-test*) untuk menentukan ada tidaknya perbedaan rerata yang bermakna setelah intervensi (Creswell, 2023). Seluruh analisis dilakukan pada taraf signifikansi 0,05 menggunakan perangkat lunak statistik SPSS 27.

C. Hasil and Pembahasan

1. Hasil

Tahapan awal analisis hasil penelitian dengan memfokuskan kajian pada data observasi aktivitas peserta didik selama proses pembelajaran mendalam terintegrasi STEM. Hasil observasi menunjukkan bahwa sebagian besar peserta didik terlibat aktif dalam seluruh tahapan proyek. Pada tahap perancangan, peserta didik berdiskusi, menggambar sketsa, dan merumuskan ide berdasarkan prinsip tekanan zat cair dan hukum Pascal. Pada tahap pembuatan dan pengujian, peserta didik menunjukkan ketekunan dalam merakit alat, mengidentifikasi kendala teknis, serta melakukan evaluasi terhadap hasil kerja purwarupa. Aktivitas kolaboratif dan diskusi kelompok berlangsung dinamis, dengan pembagian peran yang cukup seimbang.

Tahap perbaikan memperlihatkan adanya aktivitas reflektif, di mana peserta didik memodifikasi desain berdasarkan hasil uji dan mengaitkannya dengan konsep ilmiah yang dipelajari. Dokumentasi proses dan produk menunjukkan bahwa seluruh kelompok berhasil menghasilkan purwarupa yang berfungsi dengan variasi desain yang beragam. Temuan observasi ini memperkuat hasil kuantitatif bahwa peningkatan kemampuan berpikir kreatif tidak hanya tercermin pada skor tes, tetapi juga tampak pada proses eksplorasi ide, pengambilan keputusan desain, serta kemampuan merevisi solusi secara sistematis selama pembelajaran berlangsung. Hasil kerja peserta didik dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Kerja Peserta Didik dalam Membuat Purwarupa Hidrolik

Gambar 2 menunjukkan bahwa hasil kerja peserta didik proyek purwarupa hidrolik mampu memfasilitasi keterlibatan aktif peserta didik dalam proses pembelajaran

IPA berbasis pengalaman langsung. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa peserta didik tidak hanya menghasilkan produk sederhana berbasis prinsip tekanan zat cair dan Hukum Pascal. Keberagaman bentuk purwarupa yang dihasilkan menunjukkan adanya ruang bagi peserta didik untuk mengembangkan kreativitas melalui ide yang berbeda, penyesuaian bahan, dan strategi penyelesaian masalah teknis. Sejalan dengan hasil observasi yang dilakukan, Tabel 3 menunjukkan bahwa rata-rata skor kemampuan berpikir kreatif peserta didik meningkat dari 31.27 pada *pretest* menjadi 85,05 pada *posttest*.

Tabel 3. Hasil Uji Paired t-Test Skor Pretest dan Posttest Kemampuan Berpikir Kreatif

Test	Mean±SD	Min	Max	Mean Selisih	t	95% CI (Lower-Upper)	p-value
Pretest	31.27±5.05	2	0				
Posttest	85.05±2.83	0	0	54.09	2.95	52.73 – 55.45	.001

Hasil uji *Paired t-Test* menunjukkan nilai *p-value* < 0.001 yang berarti terdapat perbedaan yang signifikan antara skor pretest dan posttest. Rata-rata peningkatan skor sebesar 54.09 poin menunjukkan bahwa implementasi pembelajaran mendalam terintegrasi STEM melalui proyek purwarupa hidrolik secara statistik efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif peserta didik.

Tabel 4. Hasil perhitungan N-Gain

Kelas	Rata-rata N-Gain	N-Gain (%)	Klasifikasi
Eksperimen	0.78	78%	Tinggi

Tabel 4 menunjukkan uji *N-Gain* bahwa implementasi pembelajaran mendalam terintegrasi STEM melalui proyek purwarupa hidrolik memberikan peningkatan kemampuan berpikir kreatif yang cukup efektif pada peserta didik yang tinggi. Nilai rata-rata *N-Gain* sebesar 0.78 atau 78% mengindikasikan bahwa peningkatan kemampuan berpikir kreatif setelah intervensi berada pada tingkat yang efektif. Temuan ini memperkuat bahwa pembelajaran berbasis proyek purwarupa hidrolik dapat memberikan pengalaman belajar yang aktif, kontekstual, dan bermakna sehingga peserta didik lebih terlibat dalam proses eksplorasi ide, pemecahan masalah, dan pengembangan solusi kreatif.

Analisis lebih lanjut dilakukan pada setiap indikator kemampuan berpikir kreatif, yaitu *fluency*, *flexibility*, *originality*, dan *elaboration*. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh indikator mengalami peningkatan setelah penerapan pembelajaran mendalam terintegrasi STEM. Indikator *fluency* menunjukkan peningkatan yang paling tinggi, yang

mengindikasikan bahwa peserta didik mampu menghasilkan lebih banyak ide atau Solusi dalam menyelesaikan permasalahan. Indikator *flexibility* juga mengalami peningkatan yang signifikan, menunjukkan kemampuan peserta didik dalam menggunakan berbagai pendekatan yang berbeda dalam menyelesaikan masalah. Indikator *originality* pada kemampuan berpikir kreatif mengalami peningkatan yang cukup baik, akan tetapi tidak setinggi *fluency*, yang menunjukkan bahwa kemampuan peserta didik dalam menghasilkan ide yang unik dan tidak umum mulai berkembang. Indikator *elaboration* juga mengalami peningkatan, yang tercermin dari kemampuan peserta didik dalam menjelaskan solusi secara lebih rinci dan sistematis. Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek melalui purwarupa hidrolik tidak hanya meningkatkan jumlah ide, tetapi juga kualitas dan kedalaman pemikiran peserta didik dalam menyelesaikan masalah.

2. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi pembelajaran mendalam berbasis STEM melalui proyek purwarupa hidrolik secara signifikan meningkatkan kemampuan berpikir kreatif peserta didik. Hasil ini mengindikasikan bahwa pendekatan pembelajaran yang menekankan keterlibatan aktif peserta didik dalam proses rekayasa dan pemecahan masalah mampu meningkatkan kualitas pemahaman konseptual sekaligus keterampilan berpikir kreatif. Temuan ini memperkuat pandangan bahwa pembelajaran STEM yang berbasis proyek memberikan pengalaman belajar autentik yang mendorong integrasi pengetahuan dan keterampilan secara simultan.

Peningkatan tersebut dapat dijelaskan melalui karakteristik pembelajaran mendalam yang menekankan keterlibatan aktif, refleksi, dan konstruksi pengetahuan secara bermakna (Chen et al., 2024). Integrasi STEM dalam proyek purwarupa hidrolik memberikan konteks autentik bagi peserta didik untuk menghubungkan konsep tekanan zat cair dan hukum Pascal dengan penerapan nyata (Amri et al., 2024). Proses perancangan, pembuatan, pengujian, dan perbaikan alat mendorong peserta didik untuk berpikir divergen, mengevaluasi solusi, serta melakukan revisi desain berdasarkan hasil uji coba (Herliantari, 2024; Lin et al., 2023).

Integrasi STEM dalam pembelajaran sains memiliki korelasi positif dengan peningkatan kreativitas, keterampilan pemecahan masalah, kemampuan berpikir kreatif, motivasi serta pemahaman konseptual peserta didik karena peserta didik terlibat langsung

dalam aktivitas desain dan evaluasi solusi (Aguilera & Ortiz-Revilla, 2021; Oanh & Dang, 2025; Oo et al., 2024; Pangestuti & Masbur, 2025). Pembelajaran berbasis penemuan berpendekatan STEM selain meningkatkan pemahaman konsep juga efektif dalam meningkatkan keterampilan kolaborasi peserta didik (Sugiarto et al., 2026). Kesesuaian tersebut tampak dalam proses pembelajaran proyek purwarupa hidrolik, ketika peserta didik bekerja dalam kelompok untuk merancang, membuat, menguji, dan memperbaiki produk. Aktivitas kolaboratif ini mendukung munculnya pertukaran ide, pembagian peran, dan negosiasi solusi, yang menjadi bagian penting dalam pengembangan kreativitas.

Peningkatan berpikir kreatif dalam penelitian ini tidak dapat dilepaskan dari proses sosial dalam pembelajaran, karena kreativitas peserta didik berkembang melalui interaksi, diskusi, dan pengambilan keputusan bersama selama kegiatan proyek berlangsung. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek dalam rekayasa sains menumbuhkan kemampuan berpikir kreatif sekaligus mempersiapkan keterampilan penting yang diperlukan peserta didik dalam jalur STEM di masa mendatang (Khafah et al., 2023; Matos et al., 2026; Oanh & Dang, 2025). Temuan tersebut mendukung hasil penelitian ini karena proyek purwarupa hidrolik memberikan pengalaman belajar yang menuntut peserta didik menerapkan konsep IPA ke dalam produk sederhana. Dalam proses tersebut, peserta didik tidak hanya memahami prinsip tekanan zat cair dan Hukum Pascal, tetapi juga menggunakannya untuk merancang solusi teknis yang dapat diuji dan diperbaiki. Pembelajaran yang diterapkan dalam penelitian ini memperlihatkan bahwa kemampuan berpikir kreatif lebih mudah berkembang ketika konsep sains dihadirkan dalam bentuk persoalan nyata yang menuntut proses desain dan pemecahan masalah.

Pembelajaran mendalam berbasis STEM memungkinkan peserta didik mengonstruksi pengetahuan melalui pengalaman langsung, refleksi, serta proses interaktif dalam pengembangan produk (Chen et al., 2024). Keterkaitan tersebut terlihat pada kegiatan peserta didik saat mengamati prinsip kerja hidrolik, menguji fungsi purwarupa, mengidentifikasi kelemahan desain, dan melakukan perbaikan. Proses ini menunjukkan bahwa pembelajaran mendalam tidak hanya hadir sebagai strategi untuk memahami konsep, tetapi juga sebagai kerangka belajar yang menuntun peserta didik untuk menyadari proses berpikirnya, memaknai pengalaman belajarnya, dan menghasilkan solusi yang lebih kreatif. Kerangka PISA 2022 tentang berpikir kreatif juga menekankan bahwa kreativitas berkembang melalui aktivitas eksplorasi ide, evaluasi solusi, serta kemampuan memodifikasi gagasan berdasarkan pengalaman belajar (Coleman, 2025).

Pembelajaran berbasis proyek purwarupa hidrolik dapat dipahami sebagai konteks pedagogis yang memfasilitasi proses pembelajaran peserta didik (Amri et al., 2024).

Kreativitas berkembang ketika peserta didik diberi ruang untuk mengeksplorasi ide, membuat keputusan desain, dan melakukan modifikasi solusi berdasarkan pengalaman empiris selama proses pembelajaran (Pinar et al., 2025). Hasil penelitian ini menunjukkan pola yang sama, karena peserta didik tidak hanya menyelesaikan tugas proyek, tetapi juga mengalami proses mencoba, gagal, memperbaiki, dan menyempurnakan produk. Kebebasan untuk mencoba, melakukan kesalahan, serta memperbaiki hasil kerja memungkinkan peserta didik membangun pemahaman konseptual yang lebih mendalam sekaligus mengembangkan pemikiran divergen (Borg Preca et al., 2023). Keberhasilan pembelajaran dalam penelitian ini terletak pada kemampuannya menghadirkan pengalaman belajar yang memberi ruang bagi peserta didik untuk berpikir fleksibel, menghasilkan gagasan orisinal, dan mengembangkan solusi secara rinci. Dalam konteks pembelajaran berbasis STEM, proyek purwarupa berfungsi sebagai media untuk memahami konsep ilmiah secara aplikatif sekaligus sebagai wahana pengembangan kreativitas melalui siklus perancangan, pengujian, dan revisi yang sistematis (Suherman et al., 2025). Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa siklus tersebut membantu peserta didik mengintegrasikan pengetahuan sains dengan keterampilan teknologi dan rekayasa. Proses tersebut mendorong peserta didik mengintegrasikan pengetahuan sains dengan keterampilan teknologi dan rekayasa sehingga mampu menghasilkan solusi yang lebih inovatif dan terperinci (Lin et al., 2023). Proyek purwarupa memberikan pengalaman belajar yang autentik dan reflektif serta memperkuat kemampuan berpikir kreatif peserta didik dalam situasi pemecahan masalah nyata (Taneja et al., 2025).

Hasil penelitian ini dapat diintegrasikan ke dalam kerangka pembelajaran mendalam yang menekankan *meaningful learning*, *mindful learning*, dan *joyful learning* (Masamoto et al., 2024). Prinsip *meaningful learning* tampak ketika peserta didik menghubungkan konsep tekanan zat cair dan Hukum Pascal dengan desain purwarupa hidrolik yang mereka buat. Prinsip *mindful learning* terlihat ketika peserta didik secara sadar mengamati proses kerja alat, merefleksikan kesalahan, dan memperbaiki desain berdasarkan hasil uji. Prinsip *joyful learning* muncul melalui keterlibatan peserta didik dalam aktivitas eksploratif, kolaboratif, dan produktif yang membuat pembelajaran menjadi lebih menyenangkan. Peningkatan kemampuan berpikir kreatif dalam penelitian ini tidak hanya berkaitan dengan penerapan STEM, tetapi juga dengan kualitas pengalaman belajar yang berkesadaran, bermakna, dan menggembirakan. Proyek purwarupa hidrolik dalam penelitian ini tidak

hanya berfungsi sebagai produk akhir pembelajaran, tetapi juga sebagai proses belajar yang membentuk kemampuan berpikir kreatif melalui pengalaman autentik, kolaboratif, dan berbasis masalah nyata (Taneja et al., 2025).

Implementasi STEM dalam pembelajaran mendalam ini menunjukkan peserta didik terlibat aktif dalam proses merancang produk, berdiskusi dengan teman, menguji alat, dan memperbaiki hasil kerja. Keterlibatan tersebut memperkuat proses belajar karena peserta didik tidak sekadar menerima informasi, tetapi membangun pengetahuan melalui pengalaman yang mereka alami sendiri. Penelitian ini memberikan kontribusi konseptual bahwa penggabungan pembelajaran mendalam dan rekayasa dalam STEM dapat menjadi strategi yang efektif untuk meningkatkan kreativitas peserta didik dalam pembelajaran IPA. Temuan ini memberikan kontribusi konseptual berupa penguatan model pembelajaran yang menggabungkan pendekatan pembelajaran mendalam dengan rekayasa dalam STEM sebagai strategi efektif untuk meningkatkan kreativitas peserta didik. Selain kontribusi teoretis, penelitian ini juga memiliki implikasi praktis bagi pembelajaran IPA (Safitri et al., 2024).

Guru perlu merancang pembelajaran yang memberikan kesempatan eksplorasi ide, pemecahan masalah autentik, serta pengembangan produk berbasis konsep sains (Deng et al., 2024). Guru juga perlu mengubah pembelajaran sebelumnya dari penyampaian hanya konsep menuju pembelajaran yang melibatkan peserta didik dalam proses bertanya, merancang, mencoba, mengevaluasi, dan merevisi solusi ilmiah. Penggunaan proyek purwarupa hidrolik sebagai media pembelajaran menunjukkan bahwa integrasi konsep fisika dengan aktivitas rekayasa sederhana dapat meningkatkan keterlibatan peserta didik sekaligus kreativitas mereka (Pont-Niclòs et al., 2024). Sejalan dengan rekomendasi pendidikan abad ke-21 yang menekankan pentingnya integrasi STEM dalam kurikulum untuk meningkatkan kompetensi inovasi peserta didik (Lin et al., 2023).

Temuan penelitian ini juga perlu dibaca secara kritis dengan membandingkannya terhadap studi lain yang melaporkan peningkatan kreativitas peserta didik yang lebih moderat atau tidak setinggi hasil penelitian ini. Temuan ini berbeda dengan beberapa penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek atau berorientasi STEM tidak selalu menghasilkan peningkatan yang tinggi pada seluruh dimensi berpikir kreatif, terutama ketika implementasi pembelajaran masih terbatas pada penyelesaian tugas secara prosedural atau ketika peserta didik belum terlibat secara optimal dalam proses desain yang berulang (Ningtyas & Suprpto, 2025). Perbedaan tersebut dapat dijelaskan karena penelitian ini tidak hanya menerapkan STEM sebagai

integrasi konten, tetapi juga menempatkan pembelajaran mendalam dalam orientasi pembelajaran yang menekankan pemahaman bermakna, refleksi, keterlibatan aktif, dan penyempurnaan gagasan secara berulang melalui proyek purwarupa hidrolik. Kondisi ini memungkinkan peserta didik tidak sekadar menyelesaikan tugas, tetapi mengalami secara langsung proses eksplorasi, pengujian, evaluasi, dan revisi solusi (Cahyono et al., 2023). Hasil yang lebih tinggi pada pembelajaran mendalam terintegrasi STEM dipengaruhi oleh kombinasi pengalaman belajar autentik, keterlibatan aktif dalam *engineering design*, serta keterkaitan yang kuat antara konsep sains dan produk yang dirancang peserta didik (Levin, 2024; Ma'wa et al., 2022).

Secara keseluruhan, pembahasan ini menegaskan bahwa tujuan penelitian telah terjawab melalui temuan peningkatan kemampuan berpikir kreatif peserta didik setelah mengikuti pembelajaran mendalam terintegrasi STEM melalui proyek purwarupa hidrolik. Pendekatan ini terbukti relevan karena mampu menghubungkan pemahaman konsep tekanan zat cair dan Hukum Pascal dengan pengalaman rekayasa yang menuntut eksplorasi ide, pemecahan masalah, kolaborasi, dan refleksi. Temuan ini menunjukkan bahwa kreativitas peserta didik tidak berkembang secara spontan, tetapi melalui desain pembelajaran yang memberi ruang bagi pengalaman belajar autentik dan proses berpikir yang berulang. Pembelajaran mendalam terintegrasi STEM dapat diposisikan sebagai strategi pembelajaran IPA yang inovatif untuk mengembangkan kemampuan berpikir kreatif peserta didik SMP.

Penelitian ini memiliki implikasi pada tiga tingkat. Secara teoretis, temuan ini memperkuat pandangan bahwa integrasi pembelajaran mendalam dan STEM dapat menjadi kerangka konseptual yang relevan untuk mengembangkan kemampuan berpikir kreatif peserta didik melalui pengalaman belajar yang bermakna, reflektif, dan berbasis rekayasa. Temuan ini juga menunjukkan bahwa kreativitas tidak hanya tumbuh dari pemberian tugas proyek, tetapi dari proses pembelajaran yang dirancang untuk mendorong eksplorasi ide, evaluasi solusi, dan revisi gagasan secara berulang. Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan implikasi bagi guru IPA SMP bahwa pembelajaran perlu dirancang tidak hanya berorientasi pada penyampaian konsep, tetapi juga pada pemberian pengalaman belajar autentik yang memungkinkan peserta didik terlibat aktif dalam merancang, menguji, dan memperbaiki produk berbasis sains. Secara pedagogis, penelitian ini menegaskan pentingnya pembelajaran yang berkesadaran, bermakna, dan menggembirakan agar peserta didik terlibat secara kognitif, emosional, dan sosial dalam

proses pembelajaran. Penggunaan proyek purwarupa hidrolik dapat menjadi salah satu alternatif strategi pembelajaran IPA yang aplikatif untuk mengembangkan kreativitas, keterampilan pemecahan masalah, dan keterlibatan peserta didik dalam pembelajaran sains. Penggunaan proyek purwarupa hidrolik dapat menjadi salah satu alternatif strategi pembelajaran yang aplikatif untuk mengembangkan kreativitas, keterampilan pemecahan masalah, dan keterlibatan peserta didik dalam pembelajaran IPA.

Secara kebijakan, temuan ini mendukung pentingnya penguatan implementasi pembelajaran mendalam dan STEM dalam kurikulum serta program pengembangan profesional guru. Sekolah dan pemangku kebijakan pendidikan perlu menyediakan dukungan berupa pelatihan guru, perangkat pembelajaran berbasis proyek, serta fasilitas sederhana yang memungkinkan pelaksanaan kegiatan rekayasa di kelas. Pengembangan kreativitas peserta didik tidak berhenti pada tataran wacana kurikulum, tetapi dapat terwujud melalui praktik pembelajaran yang konkret dan berkelanjutan.

Penelitian ini menunjukkan peningkatan kemampuan berpikir kreatif yang signifikan setelah penerapan pembelajaran mendalam terintegrasi STEM, desain penelitian yang digunakan yaitu *one-group pretest-posttest* memiliki keterbatasan dalam mengontrol validitas internal. Desain ini tidak melibatkan kelompok kontrol sehingga tidak sepenuhnya dapat mengeliminasi kemungkinan pengaruh faktor luar terhadap perubahan skor yang terjadi. Beberapa ancaman terhadap validitas internal yang perlu dipertimbangkan antara lain efek pengujian (*testing effect*), di mana peserta didik dapat mengalami peningkatan skor karena terbiasa dengan format soal, efek maturasi (*maturization*), yaitu perubahan alami dalam kemampuan peserta didik seiring waktu, serta efek instrumentasi (*instrumentation*), yang berkaitan dengan konsistensi pengukuran antara *pretest* dan *posttest*.

Penggunaan desain penelitian ini tetap relevan karena memungkinkan peneliti mengamati perubahan langsung sebelum dan sesudah intervensi dalam situasi pembelajaran nyata. Selain itu, upaya pengendalian dilakukan melalui penggunaan instrumen yang telah diuji validitas dan reliabilitasnya, serta penerapan prosedur pembelajaran yang terstruktur dan konsisten selama intervensi. Penelitian ini tetap memberikan bukti empiris awal mengenai efektivitas pembelajaran mendalam terintegrasi STEM dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif peserta didik.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, penelitian dilakukan pada satu kelompok eksperimen sehingga generalisasi hasil perlu dilakukan dengan hati-hati. Kedua, durasi implementasi pembelajaran relatif terbatas sehingga belum dapat

menggambarkan perkembangan kreativitas peserta didik dalam jangka panjang. Penelitian lanjutan disarankan untuk melibatkan kelompok kontrol, durasi intervensi yang lebih panjang, serta variasi konteks pembelajaran untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas pembelajaran mendalam berbasis STEM.

D. Penutup

Implementasi pembelajaran mendalam terintegrasi STEM melalui proyek purwarupa hidrolik selaras dengan tujuan penelitian pada pendahuluan yakni menganalisis pengaruh strategi ini terhadap kemampuan berpikir kreatif peserta didik SMP. Pembelajaran STEM dengan proses *engineering* memberi pengalaman belajar autentik yang menggeser aktivitas dari sekadar memahami konsep menjadi mengonstruksi konsep melalui desain, uji coba, dan pemecahan masalah. Peningkatan hasil belajar sebagai bukti bahwa keterlibatan aktif dalam proses rekayasa dan evaluasi solusi memperkuat pemahaman konseptual sekaligus meningkatkan kemampuan berpikir kreatif peserta didik pada topik purwarupa hidrolik inovatif.

Secara teoretis, temuan ini memperkuat pandangan bahwa integrasi pembelajaran mendalam dan STEM dapat menjadi kerangka yang efektif untuk mengembangkan kemampuan berpikir kreatif melalui pengalaman belajar yang bermakna, reflektif, dan berbasis rekayasa. Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan arah bagi guru IPA untuk merancang pembelajaran yang tidak hanya menekankan penguasaan konsep, tetapi juga memberi kesempatan kepada peserta didik untuk mengeksplorasi ide, menguji solusi, dan memperbaiki produk secara bertahap. Secara kebijakan, temuan ini menunjukkan pentingnya dukungan sekolah dan pemangku kebijakan pendidikan dalam menyediakan pelatihan guru, perangkat pembelajaran berbasis proyek, serta fasilitas sederhana yang mendukung implementasi pembelajaran mendalam terintegrasi STEM di kelas.

Pengembangan kreativitas peserta didik dapat diwujudkan secara lebih sistematis dalam praktik pembelajaran IPA. Prospek pengembangan ke depan mencakup variasi konteks pembelajaran agar efektivitas model tergambar lebih komprehensif, sedangkan prospek aplikasinya adalah menjadikan integrasi pembelajaran mendalam terintegrasi STEM berbasis proyek sebagai strategi inovatif pembelajaran IPA untuk menyiapkan kemampuan berpikir kreatif peserta didik yang termasuk dalam salah satu kompetensi abad ke-21.

References

- Aguilera, D., & Ortiz-Revilla, J. (2021). STEM vs. STEAM Education and Student Creativity: A Systematic Literature Review. *Education Sciences*, 11(7), p. 331. <https://doi.org/10.3390/educsci11070331>
- Ambarita, J., Purnamasari, U., & Siahaya, A. (2025). Deep Learning as a Pathway To Pedagogical Transformation in Indonesia. *Jurnal Penelitian Kebijakan Pendidikan*, 18(1), 17–30. <https://doi.org/10.24832/jpkp.v18i1.1229>
- Amri, M. F., Prima, E. C., Winarno, N., & Mohamad, M. (2024). STEM Learning with a Simple Hydraulic Pump Project to Improve Student Communication and Collaboration Skills. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 13(3), 391–400. <https://doi.org/10.15294/4qq3ps23>
- Astawan, I. G., Suarjana, I. M., Werang, B. R., Asaloei, S. I., Sianturi, M., & Elele, E. C. (2023). STEM-Based Scientific Learning and Its Impact on Students' Critical and Creative Thinking Skills: An Empirical Study. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 12(3), 482–492. <https://doi.org/10.15294/jpii.v12i3.46882>
- Borg Preca, C., Baldacchino, L., Briguglio, M., & Mangion, M. (2023). Are STEM Students Creative Thinkers? *Journal of Intelligence*, 11(6), 1–15. <https://doi.org/10.3390/jintelligence11060106>
- Cahyono, A. H., Ibrahim, M., & Suprpto, N. (2023). Pengembangan Perangkat Pembelajaran IPA Berbasis Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) dalam Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis dan Problem Solving pada Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Education and Development*, 11(2), 420–426. <https://doi.org/10.37081/ed.v11i2.4747>
- Chen, C., Said, T., Sadler, P. M., Perry, A., & Sonnert, G. (2024). The Impact Of High School Science Pedagogies on Students' STEM Career Interest and on Their Ratings Of Teacher Quality. *Journal of Research in Science Teaching*, 61(10), 2535–2569. <https://doi.org/10.1002/tea.21948>
- Coleman, C. (2025). Developing Students' Creative Self-Efficacy: Results from the Programme for International Student Assessment (PISA). *Set: Research Information for Teachers*, 2. <https://doi.org/10.18296/set.1577>
- Creswell, J. W. C. (2023). *David. Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Los Angeles. Sage Publications, Inc.
- Daud, R. M. (2021). Penerapan Pendekatan Contextual Teaching and Learning (Ctl) dalam Upaya Meningkatkan Pemahaman Konsep Matematika Siswa. *Jurnal Pajar (Pendidikan Dan Pengajaran)*, 5(1), 94–105. <https://doi.org/10.33578/pjr.v5i1.8284>
- Deng, J., Huang, X., & Ren, X. (2024). A Multidimensional Analysis of Self-Esteem and Individualism: A Deep Learning-Based Model for Predicting Elementary School

- Students' Academic Performance. *Measurement: Sensors*, 33, 101147. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101147>
- Dewi, A. A., Zulfa, N. S., & Karlimah, K. (2025). Pengembangan Media Scratch Berbasis Active Learning pada Pembelajaran Matematika di Sekolah Dasar. *Jurnal Didaktika Pendidikan Dasar*, 9(2), 595–616. <https://doi.org/10.26811/didaktika.v9i2.1738>
- Dirgantara, A. R., Masruroh, D. N., Damayanti, E. M., Maharani, J. C., Intimaiya, K., Rahma, P. A., Widodo, R. T., & Agustin, S. N. (2026). Penguatan Proses Deep Learning melalui Pameran Alat Peraga Pembelajaran di SMP Negeri 13 Magelang. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(1), 14–27. <https://doi.org/10.71153/zona.v3i1.413>
- Durnali, M., & Gökbulut, B. (2025). Empowering Masters of Creative Problem Solvers: The Impact of STEM Professional Development Training on Teachers' Attitudes, Self-Efficacy, and Problem-Solving Skills. *Journal of Intelligence*, 13(10), 132. <https://doi.org/10.3390/jintelligence13100132>
- Effendi, M. I., Elmunsyah, H., & Widiyanti, W. (2024). Peran Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) terhadap Ketercapaian 4C Skills (Critical Thinking, Creative Thinking, Collaboration, and Communication) Siswa SMK. *Jurnal Kependidikan*, 13(001), 435–444. <https://doi.org/10.58230/27454312.1677>
- Gao, Ying. (2025). Deep Learning-Based Strategies for Evaluating and Enhancing University Teaching Quality. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100362. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100362>
- Gao, Yue, & Fan, Q. (2022). [Retracted] Analysis of Psychological Changes and Intervention Mechanism of Elderly Groups Based on Deep Learning Analysis Technology. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1), 1686219. <https://doi.org/10.1155/2022/1686219>
- Hair Jr, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). Multivariate Data Analysis. In *Multivariate data analysis* (p. 785).
- Herliantari, H. (2024). Efektivitas integrasi STEM dalam Pembelajaran IPA untuk Meningkatkan Keterampilan Problem Solving Siswa SMP. *Jurnal Inovasi Guru Indonesia*, 1(2), 58–60. <https://doi.org/10.63202/jigi.v1i2.33>
- Irawan, S., Kelana, A. H., Daullu, M. A., Inggame, M. M., & Pujowati, M. (2026). Pengaruh Model Discovery Learning Berbasis Metode Eksperimen terhadap Hasil Belajar IPA pada Materi Tekanan Zat Cair. *Jurnal Pendidikan Matematika Dan IPA*, 6(1), 251–261. <https://doi.org/10.53299/jagomipa.v6i1.3891>
- Irman, I., Surahman, E., Agustian, D., Herawati, D., & Badriah, L. (2025). Profil Kemampuan Berpikir Kreatif Peserta Didik dalam Pembelajaran IPA. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 15(1), 60–67. <https://doi.org/10.37630/jpm.v15i1.2318>
- Isnayanti, A. N., Putriwanti, P., Kasmawati, K., & Rahmita, R. (2025). Integrasi Pembelajaran

- Mendalam (Deep Learning) dalam Kurikulum Sekolah Dasar: Tantangan dan Peluang. *Cokroaminoto Journal of Primary Education*, 8(2), 911-920. <https://doi.org/10.30605/cjpe.8.2.2025.6027>
- Khafah, F., Suprpto, P. K., & Nuryadin, E. (2023). The effect of Project-Based Learning Model on Students' Critical and Creative Thinking Skills in The Ecosystem Concept. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 9(3), 244-255. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v9i3.27461>
- Komalasari, K., Abdulkarim, A., Sopianingsih, P., & Permana, G. R. (2025). Deep Learning Model in Pancasila Education for Strengthening Students' Digital Citizenship Competences. *The New Educational Review*, 81(3), 135-150. <https://doi.org/10.15804/tner.2025.81.3.09>
- Levin, O. (2024). Simulation as a pedagogical Model for Deep Learning in Teacher Education. *Teaching and Teacher Education*, 143, 104571. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2024.104571>
- Lin, K.-Y., Yeh, Y.-F., Hsu, Y.-S., Wu, J.-Y., Yang, K.-L., & Wu, H.-K. (2023). STEM Education Goals in The Twenty-First Century: Teachers' Perceptions and Experiences. *International Journal of Technology and Design Education*, 33(2), 479-496. <https://doi.org/10.1007/s10798-022-09737-2>
- Ma'wa, A. J., Toto, T., & Kustiawan, A. (2022). Pengaruh Model PjBL-STEM dalam Pembelajaran IPA Ppda Materi Bioteknologi terhadap Motivasi Belajar Siswa. *Jurnal Keguruan Dan Ilmu Pendidikan*, 3(1), 307-314. <https://doi.org/10.25157/j-kip.v3i1.7256>
- Masamoto, M., Stevens, C., & Ettinger, L. (2024). Changes in High School Students Attitudes Toward Health Sciences Following A Hands-On Outreach STEM Program. *Anatomical Sciences Education*, 17(7), 1417-1430. <https://doi.org/10.1002/ase.2494>
- Matos, B. C., Safitri, S., Tanujaya, B. C., Bright, S., & Pereira, N. (2026). Creativity in STEM Education: Exploring Students' Creative Behaviors in an Engineering Design Course. *Journal of Advanced Academics*, 37(1), 41-73. <https://doi.org/10.1177/1932202X25139469>
- Ningtyas, D. P., & Suprpto, N. (2025). Systematic Literature Review: Analisis Pembelajaran IPA Berbasis STEAM Terhadap Peningkatan Kreativitas Siswa. *Jurnal Kependidikan*, 14(2), 2209-2220. <https://doi.org/10.58230/27454312.2259>
- Nurazizah, Z., Mubarak, A. S., Herawan, E., & Putri, D. P. (2025). Deep Learning with Project-Based Learning (PjBL) Model for Student Creativity: Pembelajaran Mendalam dengan Model Project-Based Learning (Pjbl) untuk Kreativitas Siswa. *Pedagogia: Jurnal Pendidikan*, 14(2), 239-252. <https://doi.org/10.21070/pedagogia.v14i2.1957>

- Oanh, D. T. K., & Dang, T. D. H. (2025). Effect of STEAM Project-Based Learning on Engineering Students' 21st Century Skills. *European Journal of Educational Research*, 14(3), 705–721. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.14.3.705>
- Oo, T. Z., Kadyirov, T., Kadyirova, L., & Józsa, K. (2024). Design-Based Learning in Higher Education: Its Effects on Students' Motivation, Creativity and Design Skills. *Thinking Skills and Creativity*, 53, 101621. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2024.101621>
- Pangestuti, W. C., & Masbur, M. (2025). Peningkatan Hasil Belajar Matematika melalui PjBL, dan STEM, Berbantuan Webex untuk Siswa SMP. *Jurnal Nispatti*, 10(1), 91–110. <https://doi.org/10.26811/nispatti.v10i1.133>
- Pinar, F. I. L., Panergayo, A. A. E., Sagcal, R. R., Acut, D. P., Roleda, L. S., & Prudente, M. S. (2025). Fostering Scientific Creativity in Science Education through Scientific Problem-Solving Approaches and STEM Contexts: a Meta-analysis. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 7(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s43031-025-00137-9>
- PISA, O. (2024). *Results. Volume III. Creative Minds, Creative Schools*. Paris, OECD Publishing.
- Pont-Niclòs, I., Martín-Ezpeleta, A., & Echegoyen-Sanz, Y. (2024). Scientific Creativity In Secondary Students And Its Relationship With STEM-Related Attitudes, Engagement and Work Intentions. *Frontiers in Education*, 9, 1382541. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1382541>
- Prastiwi, A. B., & Yulianto, S. (2024). Efektivitas Model Pembelajaran PjBL Terintegrasi STEAM untuk meningkatkan Keterampilan Berpikir Kreatif dan Hasil Belajar IPAS Siswa Kelas V Sekolah Dasar. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 9(2), 2189–2202. <https://doi.org/10.23969/jp.v9i2.13610>
- Prihantini, P., Sutarto, S., Apriliyani, E. S., StaviniBELIA, S., Arsyad, M., & Mukhtar, D. (2025). Deep Learning Approaches in Education: A Literature Review on Their Role in Addressing Future Challenge. *TOFEDU: The Future of Education Journal*, 4(5), 1213–1220. <https://doi.org/10.61445/tofedu.v4i5.532>
- 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), 1–15. <https://doi.org/10.24832/jpkp.v18i1.1281>
- Safitri, W., Suyanto, S., & Prasetya, W. A. (2024). The Influence of The STEM-Based Engineering Design Process Model on High School Students' Creative and Critical Thinking Abilities. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(2), 662–673. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i2.4765>
- Sari, H., Hermansyah, S., Maming, K., Kahar, A., & Elfahmi, F. K. (2025). Understanding

- Indonesian Students' Reading Knowledge in Digital Literacy within Socio-Cultural of Rural Middle Schools. *International Journal of Information and Learning Technology*, 42(5), 432–448. <https://doi.org/10.1108/IJILT-12-2023-0239>
- Sayadi, D., & Pangandaman, H. (2025). Technology-enhanced Science Teaching For 21st-Century Learning: A Systematic Review of Evidence-Based Strategies and Their Alignment with SDG 4. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 14(3), 585–598. <https://doi.org/10.15294/jpii.v14i3.29379>
- Sudarmono, M. A. (2025). Deep Learning Approach in Improving Critical Thinking Skills of Elementary School Students. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(8), 60–70. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i8.11708>
- Sugiarto, W., Nurrohma, S., Natiadiwijaya, I. F., & Damayanti, H. (2026). Integrasi Pembelajaran Discovery STEM Learning dan V-Lab pada Materi Pesawat Sederhana untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Siswa dan Keterampilan Kolaborasi. *Jurnal Didaktika Pendidikan Dasar*, 10(1), 41–58. <https://doi.org/10.26811/didaktika.v10i1.2050>
- Sugiyono. (2016). Metode Penelitian: Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. In *Alfabeta*.
- Suherman, S., Vidákovich, T., Mujib, M., Hidayatulloh, H., Andari, T., & Susanti, V. D. (2025). The role of STEM Teaching in Education: an Empirical Study to Enhance Creativity and Computational Thinking. *Journal of Intelligence*, 13(7), 88. <https://doi.org/10.3390/jintelligence13070088>
- Tacoh, Y. T. (2023). Analysis of the “Deep Listening” Spiritual Pedagogy Approach in Online Learning to Build Intersubjectivity. *Jurnal Ilmiah Peuradeun*, 11(3), 905–924. <https://doi.org/10.26811/peuradeun.v11i3.935>
- Taneja, K., Didik, S., & Staruschenko, A. (2025). Discovering Physiology: A High School Student's Journey into STEM: Perspective And Advice. In *Advances in Physiology Education* (Vol. 49, Issue 2, pp. 482–485). American Physiological Society Rockville, MD. <https://doi.org/10.1152/advan.00008.2025>
- Wibawa, K. A., Payadnya, I. P. A. A., Wena, I. M., & Saelee, S. (2025). Metacognitive Strategies In Solving Mathematical Realistic Word Problems: A Case of Indonesian Junior High School Learners. *Asian Education and Development Studies*, 14(5), 1068–1079. <https://doi.org/10.1108/AEDS-01-2025-0005>
- Widyawati, R. (2025). Peningkatan Hasil Belajar Siswa Prakarya Melalui Model Pembelajaran STEAM. *Jurnal Nispatti*, 10(2), 139–158. <https://doi.org/10.26811/nispatti.v10i2.142>
- Xu, J., Ma, X., Xu, X., & Li, Y. (2026). Construction and Practice of Design-Based Learning Model for Cultivating Creative Thinking: A Case Study of STEM Courses in Junior High School. *Thinking Skills and Creativity*, 61, 102147.

<https://doi.org/10.1016/j.tsc.2026.102147>