

Implementasi Pembelajaran Mendalam Berbasis STREAM–Project-Based Learning untuk Meningkatkan Literasi Sains Peserta Didik pada Materi Bioteknologi

Muhammad Hasymi Mujaddi¹, Tri Wahyu Agustina², Dindin Nasrudin³

^{1,2,3} Program Studi Magister Tadris IPA Pascasarjana UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia

Abstrak

Rendahnya literasi sains peserta didik masih menjadi tantangan dalam pembelajaran IPA, terutama dalam mengembangkan kemampuan menjelaskan fenomena secara ilmiah, merancang dan mengevaluasi penyelidikan, serta menafsirkan data dan bukti ilmiah sebagaimana dituntut dalam kerangka PISA 2025. Salah satu penyebabnya adalah praktik pembelajaran yang masih berorientasi pada penguasaan konsep secara dangkal dan belum sepenuhnya mengimplementasikan karakteristik pembelajaran mendalam (*deep learning*) yang menekankan pengalaman belajar bermakna, kontekstual, reflektif, dan berpusat pada peserta didik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi pembelajaran mendalam melalui pendekatan STREAM–Project-Based Learning (STREAM–PjBL) pada materi bioteknologi serta mengukur peningkatan literasi sains peserta didik berdasarkan indikator literasi sains PISA 2025. Penelitian menggunakan desain pre-eksperimental one group pretest–posttest yang melibatkan 20 siswa kelas IX SMP. Instrumen penelitian berupa enam soal esai yang dikembangkan berdasarkan tiga indikator literasi sains, yaitu kemampuan menjelaskan fenomena secara ilmiah, mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah, serta menafsirkan data dan bukti ilmiah. Implementasi pembelajaran dilaksanakan melalui tahapan PDBU (Pikir, Desain, Buat, dan Uji) dengan proyek pembuatan produk bioteknologi konvensional berupa tempe, kombucha, dan *virgin coconut oil* (VCO). Data dianalisis menggunakan uji normalitas Shapiro–Wilk, *paired sample t-test*, *normalized gain* (N-gain), dan *effect size* Cohen's *d*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran menghasilkan rata-rata N-gain sebesar 0,84 dengan kategori tinggi. Uji *paired sample t-test* menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara skor pretest dan posttest ($t(19) = 13,97$; $p < 0,001$) dengan *effect size* (Cohen's *d*) sebesar 3,61, yang termasuk kategori sangat besar. Analisis per indikator menunjukkan peningkatan sangat tinggi pada kemampuan menjelaskan fenomena secara ilmiah (N-gain = 0,95), peningkatan sedang pada kemampuan mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah (N-gain = 0,58), serta peningkatan tinggi pada kemampuan menafsirkan data dan bukti ilmiah (N-gain = 0,75). Temuan ini menunjukkan bahwa implementasi pembelajaran mendalam melalui STREAM–PjBL mampu mengoperasionalkan karakteristik pembelajaran mendalam secara sistematis melalui pengalaman belajar berbasis proyek yang autentik, sehingga berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan literasi sains peserta didik. Model pembelajaran ini berpotensi menjadi alternatif pembelajaran IPA yang kontekstual dalam mendukung implementasi kebijakan Pembelajaran Mendalam di Indonesia.

Kata Kunci: pembelajaran mendalam; STREAM; *project-based learning*; literasi sains; bioteknologi

Abstract

Scientific literacy remains a major challenge in science education, particularly in developing students' ability to explain scientific phenomena, evaluate and design scientific investigations, and interpret scientific data and evidence as emphasized in the PISA 2025 Science Framework. One contributing factor is that classroom instruction continues to emphasize superficial conceptual understanding rather than implementing the principles of Deep Learning, which promote meaningful, contextual, reflective, and student-centered learning experiences. This study aimed to analyze the implementation of STREAM–Project-Based Learning (STREAM–PjBL) as an operationalization of Deep Learning in biotechnology instruction and to examine its effectiveness in improving students' scientific literacy based on the PISA 2025 scientific literacy competencies. A pre-experimental one-group pretest–posttest design was employed involving 20 ninth-grade junior high school students. Scientific literacy was assessed using six essay questions developed to measure three core competencies: explaining scientific phenomena, evaluating and designing scientific investigations, and interpreting scientific data and evidence. The learning intervention was implemented through the Think–Design–Build–Test (PDBU) learning cycle, in which students collaboratively developed conventional biotechnology products, namely tempeh, kombucha, and virgin coconut oil (VCO). Data were analyzed using the Shapiro–Wilk normality test, paired-samples *t-test*, *normalized gain* (N-gain), and Cohen's *d* effect size. The findings revealed a high average N-gain of 0.84. The paired-samples *t-test* indicated a statistically significant difference between pretest and posttest scores ($t(19) = 13.97$, $p < .001$), with a very large effect size (Cohen's *d* = 3.61). Indicator-level analysis showed a very high improvement in explaining scientific phenomena (N-gain = 0.95), a moderate improvement in evaluating and designing scientific investigations (N-gain = 0.58), and a high improvement in interpreting scientific data and evidence (N-gain = 0.75). These findings demonstrate that implementing Deep Learning through STREAM–PjBL systematically operationalizes the core characteristics of Deep Learning by providing authentic project-based learning experiences, thereby making a significant contribution to the enhancement of students' scientific literacy. This instructional approach offers a promising contextual model for supporting the implementation of Indonesia's Deep Learning education policy in science classrooms.

Keywords: *deep learning*; STREAM; *project-based learning*; scientific literacy; biotechnology

Corresponding Author

Muhammad Hasymi Mujaddi, Program Studi Magister Tadris IPA UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia
Email: muhammadhasymimujaddi@gmail.com

Article Information

Received: 7 July 2026
Accepted: 1 August 2026
Published: 11 August 2026

© 2026 Tunas Cendekia: Jurnal Program Studi Pendidikan Anak Usia Dini.

This article is published under the Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>



1. Pendahuluan

Literasi sains merupakan kompetensi esensial yang menekankan kemampuan peserta didik dalam memahami, menggunakan, dan merefleksikan pengetahuan ilmiah untuk memecahkan masalah nyata. Dalam kerangka PISA 2025, literasi sains tidak lagi dipahami sebagai penguasaan konsep semata, tetapi mencakup tiga indikator utama, yaitu menjelaskan fenomena secara ilmiah, mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah, serta menafsirkan data dan bukti secara ilmiah (OECD, 2023b). Berbagai studi menunjukkan bahwa capaian literasi sains siswa Indonesia masih cenderung rendah terutama pada aspek aplikatif dan penalaran ilmiah, sehingga siswa mengalami kesulitan dalam mengaitkan konsep sains dengan konteks kehidupan sehari-hari (Deta et al., 2025). Kondisi ini mengindikasikan bahwa pembelajaran sains di sekolah masih perlu diarahkan pada penguatan pemahaman konseptual yang bermakna dan kemampuan bernalar ilmiah, sebagaimana dituntut dalam kerangka PISA terbaru (OECD, 2023b; Putri et al., 2025).

Salah satu faktor yang berkontribusi terhadap rendahnya literasi sains adalah belum optimalnya implementasi pembelajaran mendalam (*deep learning*) di kelas. Praktik pembelajaran sains di sekolah masih banyak didominasi oleh aktivitas hafalan, latihan soal rutin, dan tugas artifisial yang kurang menuntut keterlibatan kognitif tingkat tinggi (Mulyana, 2023; Nurfaizah et al., 2025). Padahal, kebijakan pendidikan nasional melalui Kemendikdasmen menekankan pentingnya pembelajaran mendalam yang berorientasi pada pemahaman bermakna, keterkaitan konsep dengan konteks nyata, refleksi, serta pengembangan kompetensi berpikir kritis dan pemecahan masalah (Kemendikdasmen, 2025). Tanpa pergeseran paradigma ke arah pembelajaran mendalam, pembelajaran sains berisiko hanya menghasilkan penguasaan konsep yang dangkal dan tidak berdampak signifikan terhadap peningkatan literasi sains siswa (OECD, 2023b).

Menjawab tantangan tersebut, diperlukan pendekatan pembelajaran yang bersifat integratif dan kontekstual, salah satunya melalui pendekatan STREAM (*Science, Technology, Religion, Engineering, Arts, and Mathematics*) sebagai pengembangan dari STEM. Pendekatan STREAM tidak hanya mengintegrasikan lintas disiplin ilmu, tetapi juga menghadirkan dimensi nilai melalui aspek *Religion* yang berfungsi untuk memperkuat pemaknaan, refleksi, berpikir kritis dan tanggung jawab etis siswa terhadap sains yang dipelajari (Agustina et al., 2020; Mujaddi et al., 2022). Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek dalam kerangka STEAM/STREAM mampu meningkatkan keterlibatan siswa, mendorong berpikir tingkat tinggi, serta memperkuat literasi sains melalui aktivitas penyelidikan dan pemecahan masalah autentik (Pratama et al., 2025; Utami et al., 2025). Dengan demikian, STREAM berpotensi menjadi pendekatan yang relevan untuk mewujudkan pembelajaran mendalam yang selaras dengan tuntutan literasi sains abad ke-21 (Agustina et al., 2020; Mujaddi et al., 2022).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk (1) menganalisis implementasi pembelajaran mendalam berdasarkan karakteristik pembelajaran mendalam Kemendikdasmen melalui pendekatan STREAM–Project-Based Learning (PjBL) pada materi bioteknologi, serta (2) mengukur peningkatan literasi sains siswa berdasarkan tiga indikator literasi sains PISA 2025. Materi bioteknologi dipilih karena memiliki keterkaitan erat dengan kehidupan sehari-hari dan memungkinkan penerapan proyek autentik melalui pembuatan produk bioteknologi tradisional seperti tempe, kombucha, dan *virgin coconut oil* (VCO), yang berpotensi memperkuat pemahaman konseptual dan penalaran ilmiah siswa (Putri et al., 2025; Sipayung, 2025; Tohiri & Rakhmawati, 2024).

2. Metodologi

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain pre-eksperimental dengan model *one group pretest–posttest*, yang bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan kemampuan literasi sains siswa sebelum dan setelah

implementasi pembelajaran mendalam berbasis STREAM–PjBL. Desain ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi dampak intervensi pembelajaran secara langsung dalam konteks kelas nyata, terutama ketika keterbatasan kondisi sekolah tidak memungkinkan penggunaan kelompok kontrol (Creswell & Creswell, 2018; Fraenkle et al., 2011). Dalam konteks penelitian pendidikan, desain pre-eksperimental sering digunakan untuk mengeksplorasi efektivitas inovasi pembelajaran pada tahap awal pengembangan atau implementasi praktik baik (*best practice*) di sekolah (Sugiyono, 2019). Selain itu, desain ini dinilai relevan dengan penelitian pembelajaran berbasis proyek yang berorientasi pada proses dan pengalaman belajar siswa, khususnya dalam pengukuran literasi sains berbasis konteks autentik (OECD, 2023b; Pratama et al., 2025).

2.2. Subjek dan Konteks Penelitian

Subjek penelitian ini adalah 20 siswa kelas IX pada salah satu SMP di Purwakarta. Karakteristik siswa pada sekolah ini memiliki kekhasan pada aspek religius dan budaya pesantren, sehingga nilai-nilai keagamaan menjadi bagian integral dalam proses pembelajaran sehari-hari. Konteks ini relevan dengan penerapan pendekatan STREAM karena memungkinkan integrasi dimensi *Religion* secara autentik dalam pembelajaran sains, bukan sekadar sebagai pelengkap normatif (Agustina et al., 2022). Penelitian pendidikan menunjukkan bahwa konteks sekolah dan karakteristik peserta didik berpengaruh signifikan terhadap efektivitas implementasi pembelajaran berbasis proyek dan integratif, terutama dalam membangun makna belajar dan literasi sains yang kontekstual (OECD, 2023b; Utami et al., 2025).

2.3. Desain Pembelajaran

Desain pembelajaran dalam penelitian ini dirancang berdasarkan karakteristik pembelajaran mendalam sebagaimana ditekankan dalam kebijakan pendidikan nasional, yaitu berorientasi pada pemahaman bermakna, keterkaitan konsep dengan konteks nyata, refleksi, serta pengembangan kompetensi berpikir tingkat tinggi (Kemendikdasmen, 2025). Tahap awal pembelajaran dimulai dengan eksplorasi konsep, di mana siswa mengkaji secara teoritis konsep bioteknologi secara umum, jenis bioteknologi (tradisional dan modern), serta konsep fermentasi. Eksplorasi ini dilakukan melalui berbagai sumber belajar seperti buku teks, internet, dan video pembelajaran untuk memperkaya perspektif dan membangun pemahaman konseptual yang kuat sebagai dasar kegiatan proyek (OECD, 2023b; Tohiri & Rakhmawati, 2024).

Integrasi nilai keagamaan dilakukan melalui pengkajian Al-Qur'an Surah Al-Baqarah ayat 168 yang menekankan prinsip *halalan thayyiban* dalam konsumsi makanan dan minuman. Ayat ini digunakan sebagai landasan reflektif untuk mengaitkan proses bioteknologi, khususnya fermentasi, dengan aspek etika, kesehatan, dan kebermanfaatan produk bagi manusia. Pendekatan ini menempatkan aspek *Religion* dalam STREAM sebagai sarana pemaknaan dan refleksi kritis terhadap sains, bukan sebagai dogma normatif (Agustina et al., 2020). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa integrasi nilai dalam pembelajaran sains dapat memperkuat keterlibatan kognitif dan afektif siswa, serta mendukung terbentuknya literasi sains yang bertanggung jawab secara sosial dan etis (OECD, 2023a; Utami et al., 2025).

Tahap selanjutnya adalah pelaksanaan proyek pembuatan produk bioteknologi tradisional, yaitu tempe, kombucha, dan *virgin coconut oil* (VCO), yang berfungsi sebagai *learning task* otentik. Melalui proyek ini, siswa terlibat langsung dalam proses perencanaan, pelaksanaan, pengamatan, dan evaluasi hasil fermentasi, sehingga mereka berlatih menjelaskan fenomena ilmiah, menafsirkan data hasil pengamatan, serta merefleksikan proses yang telah dilakukan. Pembelajaran berbasis proyek semacam ini terbukti efektif dalam meningkatkan literasi sains karena mendorong siswa untuk menerapkan konsep dalam konteks nyata dan melakukan penalaran berbasis bukti (Pratama et al., 2025; Sipayung, 2025; Tohiri & Rakhmawati, 2024). Kegiatan pembelajaran diakhiri dengan sesi refleksi dan diskusi

hasil proyek, yang bertujuan untuk memperdalam pemahaman, memperkuat metakognisi, serta mengaitkan pengalaman belajar dengan konsep bioteknologi dan nilai yang telah dipelajari (Kemendikdasmen, 2025; OECD, 2023b).

2.4. Instrumen Literasi Sains

Instrumen penelitian yang digunakan untuk mengukur literasi sains berupa enam soal esai yang dirancang untuk mengungkap kemampuan penalaran ilmiah siswa secara mendalam. Pemilihan bentuk esai didasarkan pada karakteristik literasi sains yang menuntut siswa untuk menjelaskan fenomena, menggunakan bukti ilmiah, serta mengemukakan alasan secara argumentatif, yang tidak dapat diukur secara optimal melalui tes objektif (Mulyana, 2023; OECD, 2019). Keenam soal tersebut dikembangkan dengan mengacu pada kerangka literasi sains PISA 2025, sehingga setiap butir soal memiliki keterkaitan langsung dengan kompetensi literasi sains yang bersifat aplikatif dan kontekstual (Deta et al., 2025; Putri et al., 2025). Penggunaan soal esai dalam penelitian literasi sains juga telah direkomendasikan dalam berbagai penelitian karena mampu menggambarkan kedalaman pemahaman konseptual dan proses berpikir ilmiah siswa secara lebih komprehensif (Fraenkle et al., 2011; OECD, 2019).

Setiap soal esai dipetakan ke dalam tiga indikator literasi sains PISA 2025, yaitu (1) menjelaskan fenomena secara ilmiah, (2) mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah, dan (3) menafsirkan data dan bukti secara ilmiah. Masing-masing indikator diwakili oleh dua soal esai untuk memastikan keterwakilan kompetensi dan keseimbangan pengukuran antar indikator (OECD, 2023b). Pemetaan indikator ini bertujuan agar hasil pengukuran tidak hanya menunjukkan peningkatan skor secara umum, tetapi juga memberikan gambaran spesifik mengenai aspek literasi sains yang berkembang paling signifikan melalui pembelajaran mendalam berbasis STREAM–PjBL (Deta et al., 2025; Putri et al., 2025). Pendekatan analisis berbasis indikator semacam ini sejalan dengan praktik evaluasi literasi sains internasional dan memberikan dasar yang kuat untuk interpretasi hasil penelitian (Fraenkle et al., 2011; OECD, 2023a).

2.5. Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil pretest dan posttest literasi sains dianalisis secara kuantitatif untuk mengidentifikasi perubahan kemampuan literasi sains siswa setelah mengikuti pembelajaran mendalam berbasis STREAM–PjBL. Skor jawaban siswa pada setiap butir soal dihitung berdasarkan rubrik penskoran, kemudian dijumlahkan untuk memperoleh skor total literasi sains pada tahap pretest dan posttest. Analisis skor pretest–posttest digunakan untuk memberikan gambaran awal mengenai peningkatan hasil belajar siswa secara umum (Fraenkle et al., 2011; Sugiyono, 2019). Pendekatan ini umum digunakan dalam penelitian pendidikan untuk mengevaluasi dampak intervensi pembelajaran pada kelompok tunggal (Creswell & Creswell, 2018; OECD, 2023b).

Untuk mengukur tingkat peningkatan literasi sains secara lebih proporsional, digunakan analisis *normalized gain* (N-gain). N-gain digunakan untuk mengetahui efektivitas pembelajaran dengan mempertimbangkan skor awal siswa, sehingga peningkatan yang diperoleh tidak bias terhadap kemampuan awal peserta didik (Hake, 1998). Nilai N-gain dikategorikan ke dalam kriteria rendah, sedang, dan tinggi untuk memudahkan interpretasi hasil pembelajaran (Hake, 1998; Sugiyono, 2019). Penggunaan N-gain dalam penelitian pembelajaran sains telah banyak diterapkan karena mampu memberikan gambaran yang lebih adil mengenai peningkatan hasil belajar akibat intervensi pembelajaran (Pratama et al., 2025; Putri et al., 2025).

Selain analisis peningkatan secara keseluruhan, data juga dianalisis per indikator literasi sains PISA 2025. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi indikator literasi sains yang mengalami peningkatan paling signifikan serta indikator yang masih memerlukan penguatan. Pendekatan analisis berbasis indikator memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi secara lebih mendalam kontribusi pembelajaran mendalam berbasis STREAM–PjBL terhadap masing-masing aspek literasi sains, seperti

kemampuan menjelaskan fenomena ilmiah, merancang penyelidikan, dan menafsirkan data (Deta et al., 2025; OECD, 2023b). Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan implikasi praktis bagi pengembangan pembelajaran IPA yang lebih efektif dan berorientasi pada literasi sains (Pratama et al., 2025; Putri et al., 2025).

3. Hasil

Analisis peningkatan literasi sains dilakukan terhadap 20 siswa menggunakan skor pretest dan posttest. Hasil analisis menunjukkan nilai rata-rata N-gain sebesar 0.84 yang termasuk kategori tinggi. Uji normalitas Shapiro–Wilk menunjukkan $p = 0.388$, sehingga data berdistribusi normal. Hasil uji *paired sample t-test* menunjukkan $t(19) = 13.97$, $p < 0.001$, yang berarti terdapat perbedaan signifikan antara pretest dan posttest. Effect size (Cohen's d) sebesar 3.61 menunjukkan pengaruh yang sangat besar. Hasil analisis disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Ringkasan Analisis Statistik		
Analisis	Hasil	Keterangan
N-gain Rata-rata	0.85	Tinggi
Shapiro-Wilk (p-value)	0.388	Normal
Paired t-test	$t(19) = 13.97$, $p < 0.001$	Terdapat Perbedaan Signifikan
Cohen's d	3.61	Sangat Besar

Analisis peningkatan literasi sains juga dilakukan pada masing-masing indikator yang mengacu pada kerangka literasi sains PISA 2025. Hasil perhitungan N-gain pada setiap indikator menunjukkan variasi tingkat peningkatan kemampuan siswa setelah mengikuti pembelajaran mendalam berbasis STREAM–PjBL. Rincian nilai N-Gain untuk setiap indikator disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 N-Gain per Indikator Literasi Sains			
No	Indikator	N-Gain	Kategori
1	Menjelaskan fenomena secara ilmiah	0.95	Sangat Tinggi
2	Menyusun dan mengevaluasi desain-desain untuk penyelidikan ilmiah serta menginterpretasikan data dan bukti ilmiah secara kritis	0.58	Sedang
3	Meneliti, mengevaluasi, dan menggunakan informasi ilmiah untuk pengambilan keputusan dan tindakan	0.75	Tinggi

Berdasarkan Tabel 2, indikator pertama, yaitu kemampuan menjelaskan fenomena secara ilmiah, memperoleh nilai N-Gain sebesar 0,95 yang termasuk dalam kategori sangat tinggi. Indikator kedua, yaitu kemampuan menyusun dan mengevaluasi desain penyelidikan ilmiah serta menginterpretasikan data dan bukti secara kritis, memperoleh nilai N-gain sebesar 0,58 yang berada pada kategori sedang. Sementara itu, indikator ketiga, yaitu kemampuan meneliti, mengevaluasi, dan menggunakan informasi ilmiah untuk pengambilan keputusan dan tindakan, menunjukkan nilai N-gain sebesar 0,75 yang termasuk dalam kategori tinggi.

4. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi pembelajaran berbasis STREAM–Project-Based Learning (PjBL) pada materi bioteknologi memberikan peningkatan literasi sains yang signifikan dengan kategori N-gain tinggi serta effect size yang sangat besar. Temuan ini menunjukkan bahwa desain pembelajaran yang diterapkan tidak hanya efektif secara statistik, tetapi juga selaras dengan karakteristik Pembelajaran Mendalam yang menekankan pengalaman belajar berkesadaran, bermakna, dan menggembirakan (Kemendikdasmen, 2025). Struktur pembelajaran melalui tahapan Pikir, Desain, Buat, dan Uji (PDBU) memungkinkan siswa mengalami proses memahami konsep,

mengaplikasikannya dalam konteks nyata, serta merefleksikan hasil yang diperoleh, sehingga literasi sains berkembang secara holistik.

Keunggulan intervensi dalam penelitian ini terletak pada penggunaan proyek pembuatan produk bioteknologi konvensional berupa tempe, kombucha, dan *virgin coconut oil* (VCO) sebagai learning task autentik. Ketiga produk tersebut menghadirkan konteks fermentasi dan proses biokimia yang dekat dengan kehidupan sehari-hari, sehingga memungkinkan pembelajaran yang bermakna dan kontekstual. Penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek dengan konteks autentik secara signifikan meningkatkan pemahaman konseptual dan keterampilan berpikir tingkat tinggi dibandingkan pembelajaran konvensional (C.-H. Chen & Yang, 2019; Kokotsaki et al., 2016). Dalam konteks literasi sains, pengalaman langsung memanipulasi bahan, mengamati perubahan, dan mengevaluasi hasil produksi memperkuat hubungan antara konsep ilmiah dan fenomena empiris (Thibaut, 2018).

Fermentasi tempe memberikan kesempatan bagi siswa untuk memahami peran mikroorganisme, kondisi lingkungan, serta transformasi biokimia selama proses inkubasi. Kombucha memperkenalkan konsep simbiosis mikroba dan dinamika perubahan keasaman, sedangkan produksi VCO menghadirkan pemahaman mengenai pemisahan fase dan proses enzimatik alami. Konteks ini memungkinkan siswa menjelaskan fenomena ilmiah secara lebih mendalam, yang merupakan indikator utama literasi sains dalam kerangka PISA 2025 (OECD, 2023b). Penelitian menunjukkan bahwa keterkaitan konsep dengan pengalaman nyata meningkatkan kemampuan scientific explanation secara signifikan (Jacquart, 2018).



(a)



(b)



(c)

Gambar 1

Hasil Produk Siswa (a) Kombucha (b) Tempe (c) VCO

Peningkatan literasi sains yang signifikan dalam penelitian ini tidak dapat dilepaskan dari struktur pembelajaran yang dirancang melalui tahapan PDBU (Pikir–Desain–Buat–Uji). Setiap tahap memberikan kontribusi berbeda terhadap penguatan indikator literasi sains, sehingga peningkatan yang terjadi menunjukkan pola yang logis dan konsisten dengan karakteristik pengalaman belajar yang mendalam.

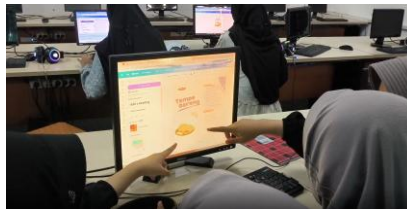
Peningkatan tertinggi terjadi pada indikator pertama. Capaian ini dapat dipahami sebagai dampak langsung dari tahap Pikir, ketika siswa mengeksplorasi konsep bioteknologi dan fermentasi secara teoritis melalui kajian sumber belajar, diskusi, dan analisis fenomena sehari-hari. Fondasi konseptual tersebut kemudian diperkuat pada tahap Buat dan Uji, ketika siswa menyaksikan secara langsung perubahan tekstur, aroma, warna, serta karakteristik produk sebagai konsekuensi aktivitas mikroorganisme. Keterkaitan antara konsep dan pengalaman empiris ini memperdalam konstruksi makna dan memperkuat kemampuan menjelaskan fenomena secara ilmiah (Aditomo & Klieme, 2020). Dengan demikian, tingginya capaian indikator pertama menunjukkan bahwa siswa tidak hanya memahami konsep fermentasi secara deklaratif, tetapi mampu mengaitkannya dengan bukti nyata.



Gambar 2

Siswa mengeksplorasi konsep (Tahap Pikir)

Pada indikator kedua, peningkatan berada pada kategori sedang. Indikator ini berkaitan erat dengan tahap Desain, ketika siswa menyusun langkah kerja, menentukan alat dan bahan, serta merancang desain kemasan produk sebagai bagian dari aspek *Arts* dalam STREAM. Proses perancangan tersebut menuntut siswa mempertimbangkan variabel yang memengaruhi keberhasilan fermentasi, efisiensi prosedur, serta aspek presentasi produk. Aktivitas ini mencerminkan praktik perencanaan investigatif, meskipun struktur proyek yang relatif terarah kemungkinan membatasi eksplorasi inquiry yang lebih terbuka. Literatur menunjukkan bahwa kemampuan investigatif memerlukan scaffolding metodologis yang lebih eksplisit dan latihan berulang agar berkembang optimal (Furtak et al., 2012; Lazonder & Harmsen, 2016). Oleh karena itu, capaian sedang pada indikator ini menunjukkan adanya perkembangan, namun masih menyisakan ruang penguatan pada aspek desain eksperimen yang lebih mendalam.



Gambar 3

Siswa mendesain kemasan produk (Tahap Desain)

Peningkatan pada indikator ketiga berkaitan erat dengan tahap Buat dan Uji dalam siklus PDBU. Pada tahap Buat, siswa melaksanakan proses pembuatan produk bioteknologi sesuai dengan desain langkah kerja, alat, dan bahan yang telah dirancang sebelumnya, sehingga terjadi implementasi konkret dari perencanaan ilmiah. Selanjutnya, pada tahap Uji, siswa melakukan pengamatan terhadap perubahan tekstur, aroma, serta karakteristik produk selama proses fermentasi, sehingga mereka memperoleh data empiris secara langsung. Proses pelaksanaan dan pengamatan tersebut mendorong siswa menggunakan bukti nyata sebagai dasar analisis dan refleksi, yang berkontribusi terhadap penguatan kemampuan interpretasi data dalam literasi sains (Grineski et al., 2018).



(a)



(b)

Gambar 4

(a) Proses Pembuatan Produk (Tahap Buat), (b) Pemaparan Hasil (Tahap Uji)

Jika dianalisis secara integratif, tahapan PDBU membentuk siklus pembelajaran yang mendukung ketiga indikator literasi sains secara sistematis. Tahap Pikir memperkuat pemahaman konseptual, Desain mengembangkan kemampuan perencanaan dan pengambilan keputusan berbasis konsep, Buat menghadirkan pengalaman empiris langsung, dan Uji menumbuhkan kemampuan interpretasi data serta komunikasi ilmiah. Pola peningkatan per indikator dalam penelitian ini sejalan dengan struktur pengalaman belajar tersebut, sehingga menunjukkan bahwa pembelajaran tidak hanya meningkatkan skor secara kuantitatif, tetapi juga memperlihatkan koherensi antara desain pedagogis dan perkembangan kompetensi literasi sains.

Integrasi dimensi Religion melalui pengkajian prinsip halalan thayyiban memperluas makna literasi sains dari aspek kognitif menuju refleksi etis dan sosial. Integrasi nilai dalam pembelajaran sains terbukti meningkatkan relevansi dan keterlibatan siswa (Alrwaished et al., 2017; Roesch et al., 2015).

Dalam konteks sekolah berbasis pesantren, integrasi tersebut selaras dengan dimensi profil lulusan Pembelajaran Mendalam yang mencakup keimanan, penalaran kritis, dan tanggung jawab sosial (Kemendikdasmen, 2025). Dengan demikian, proyek bioteknologi tidak hanya memperkuat kompetensi ilmiah, tetapi juga membangun kesadaran etis terhadap produksi dan konsumsi pangan.

Meskipun effect size menunjukkan dampak yang sangat kuat, interpretasi hasil perlu dilakukan secara hati-hati mengingat desain pra-eksperimental tanpa kelompok kontrol memiliki keterbatasan dalam inferensi kausal (Creswell & Creswell, 2018). Namun demikian, literatur menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek autentik cenderung menghasilkan efek yang lebih besar dibanding pembelajaran tradisional (K. Chen & Chen, 2021). Oleh karena itu, hasil penelitian ini menunjukkan potensi kuat implementasi STREAM–PjBL dalam mengoperasionalkan Pembelajaran Mendalam dan meningkatkan literasi sains secara signifikan serta bermakna.

Secara keseluruhan, proyek pembuatan produk bioteknologi konvensional berfungsi sebagai wahana integratif yang menghubungkan konsep ilmiah, praktik investigatif, penalaran berbasis bukti, dan refleksi nilai dalam satu rangkaian pengalaman belajar. Model ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan praktik pedagogis kontekstual yang selaras dengan transformasi pendidikan nasional dan tuntutan literasi sains abad ke-21.

5. Simpulan

Implementasi pembelajaran mendalam melalui pendekatan STREAM–*Project-Based Learning* (PjBL) pada materi bioteknologi terbukti efektif meningkatkan literasi sains siswa secara signifikan. Peningkatan ditunjukkan oleh nilai *N-gain* kategori tinggi serta perbedaan signifikan antara pretest dan posttest dengan *effect size* sangat besar. Secara spesifik, indikator kemampuan menjelaskan fenomena ilmiah mengalami peningkatan paling tinggi, indikator merancang dan mengevaluasi penyelidikan ilmiah meningkat pada kategori sedang, dan indikator menafsirkan data serta bukti ilmiah meningkat pada kategori tinggi. Tahapan PDBU (Pikir, Desain, Buat, Uji) berkontribusi sistematis terhadap perkembangan ketiga indikator tersebut melalui eksplorasi konsep, perancangan produk, pelaksanaan pembuatan, serta pengujian dan presentasi hasil. Dengan demikian, STREAM–PjBL berbasis proyek bioteknologi konvensional berpotensi menjadi model pembelajaran yang efektif dalam mengembangkan literasi sains secara bermakna dan kontekstual.

6. Daftar Pustaka

- Aditomo, A., & Klieme, E. (2020). Forms of inquiry-based science instruction and their relations with learning outcomes: evidence from high and low-performing education systems. *International Journal of Science Education*, 42(4), 504–525. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1716093>
- Agustina, T. W., Rustaman, N. Y., Riandi, & Purwianingsih, W. (2020). The stream approach (science-technology-religion-engineering-arts- mathematics) provides students 'thinking habits. *Edusains*, 12(2), 283–296.
- Agustina, T. W., Sholikha, M., Mas'ud, A., & Sholehah, N. (2022). *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia) Performance assessment to measure creativity through STREAM approach*. 8(2), 194–204.
- Alrwaished, N., Alkandari, A., & Alhashem, F. (2017). *Exploring In- and Pre-Service Science and Mathematics Teachers ' Technology, Pedagogy, and Content Knowledge (TPACK): What Next ?* 8223(9), 6113–6131. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.01053a>
- Chen, C.-H., & Yang, Y.-C. (2019). Revisiting the effects of project-based learning on students' academic achievement: A meta-analysis investigating moderators. *Educational Research Review*, 26, 71–81. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.edurev.2018.11.001>
- Chen, K., & Chen, C. (2021). *Effects of STEM Inquiry Method on Learning Attitude and Creativity*. 17(11).
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.

- Deta, U. A., A. S. K., Laila, L., Prahani, B. K., & Suprpto, N. (2025). *PISA science framework 2018 vs 2025 and its impact in physics education : Literature review*. 8(1), 95–107. <https://doi.org/10.21067/mpej.v8i1.9215>
- Fraenkle, J. R., Wallen, N. E., & Helen, H. H. (2011). *How to Design and Evaluate Research in Education*. McGraw-Hill.
- Furtak, Erin Marie, Seidel, Tina, Iverson, Heidi, & Briggs, Derek C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300–329. <https://doi.org/10.3102/0034654312457206>
- Grineski, S., Daniels, H., Collins, T., Morales, D. X., Frederick, A., & Garcia, M. (2018). The conundrum of social class: Disparities in publishing among STEM students in undergraduate research programs at a Hispanic majority institution. *Science Education*, 102(2), 283–303. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.21330>
- Hake, R. . (1998). *Analizing Change/Ngain Score*. Dept: Of Physics: Indiana University.
- Jacquart, M. (2018). Learning About Reality Through Models and Computer Simulations. *Science & Education*, 27(7), 805–810. <https://doi.org/10.1007/s11191-018-9992-9>
- Kemendikdasmen. (2025). *NASKAH AKADEMIK PEMBELAJARAN MENDALAM Menuju Pendidikan Bermutu Untuk Semua*.
- Kokotsaki, Dimitra, Menzies, Victoria, & Wiggins, Andy. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*, 19(3), 267–277. <https://doi.org/10.1177/1365480216659733>
- Lazonder, Ard W, & Harmsen, Ruth. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning: Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, 86(3), 681–718. <https://doi.org/10.3102/0034654315627366>
- Mujaddi, M. H., Agustina, T. W., & Maryanti, S. (2022). *Critical Thinking Skills Using Science Technology Religion Engineering Arts and Mathematics (STREAM) Approach on Ecosystem Materials*. 11(2), 185–193.
- Mulyana, V. (2023). *Validity and Practicality of Scientific Literacy Assessment Instruments Based on Tornado Physics Enrichment Book*. 12(1), 19–29. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v12i1.15934>
- Nurfaizah, D. A., Uwais, M., & Qorni, A. (2025). *Penelitian Literasi Sains dalam Pendidikan Sains (2004- 2024): Studi Bibliometrik tentang Perkembangan dan Tren*. 58–68.
- OECD. (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*.
- OECD. (2023a). Pisa 2022 Results. In *Factsheets: Vol. I*. https://www.oecd-ilibrary.org/education/pisa-2022-results-volume-i_53f23881-en%0Ahttps://www.oecd.org/publication/pisa-2022-results/country-notes/germany-1a2cf137/
- OECD. (2023b). *PISA Revisi. May 2023*, 1–93.
- Pratama, H., Puspitasari, Y. D., & Maduretno, T. W. (2025). *Science Literacy through STEM-Based Project Based Learning Model*. 11(7), 320–330. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i7.11306>
- Putri, P. N., Rachmadiarti, F., Purnomo, T., & Satriawan, M. (2025). *Measuring Scientific Literacy o f Students ' Through Environmental Issues Based on PISA 2025 Science Framework*. 11(3), 44–53. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i3.10413>
- Roesch, F., Nerb, J., & Riess, W. (2015). Promoting Experimental Problem-solving Ability in Sixth-grade Students Through Problem-oriented Teaching of Ecology: Findings of an intervention study in a complex domain. *International Journal of Science Education*, 37(4), 577–598. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.1000427>
- Sipayung, S. M. P. (2025). *Development of an Electronic Student Worksheet Integrating Project Based Learning on Biotechnology to Enhance Psychomotor Learning Outcomes of Grade XII Students*. XI(2), 158–172.
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian pendidikan: Pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Thibaut, L. (2018). *Integrated STEM education: A systematic review*. *International Journal of STEM Education*, 5(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s40594-018-0114-6>
- Tohiri, D. M., & Rakhmawati, A. (2024). *Development of PjBL-based e-worksheets utilizing kombucha bioprocess in high school biology learning*. 2021.
- Utami, A. N., Agustina, T. W., & Sukmawardhani, Y. (2025). *Project-Based Learning (PjBL) Integrated with*

STREAM-ESD in Kombucha Tea Production to Enhance Students ' Critical Thinking Skill s. 14(2), 128–136.