PENGARUH *PROBLEM-ORIENTED PROJECT-BASED LEARNING* BERBASIS PENDEKATAN PEMBELAJARAN MENDALAM TERHADAP KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS DAN KOMUNIKASI ILMIAH SISWA SMA

Tasya Putri Hendrika*, Ibrohim, Sitoresmi Prabaningtyas

Prodi Pendidikan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang 5 Malang, Jawa Timur, 65145, Indonesia

*Email: tasya.putriot.2403418@students.um.ac.id

Abstrak

Keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah merupakan kompetensi penting dalam pembelajaran biologi karena mendukung kemampuan siswa dalam menganalisis permasalahan, menggunakan bukti, membangun argumen, dan mengomunikasikan hasil pemikiran secara ilmiah. Pembelajaran yang berorientasi pada permasalahan dan proyek perlu dikembangkan dengan pendekatan yang mendorong keterlibatan siswa secara sadar, bermakna, dan reflektif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *Problem-Oriented Project-Based Learning* (POPBL) berbasis Pendekatan Pembelajaran Mendalam terhadap keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah siswa kelas XI SMA Negeri 8 Pekanbaru. Penelitian menggunakan metode kuasi eksperimen dengan desain *non-randomized control group pretest-posttest*. Subjek penelitian terdiri atas 124 siswa yang terbagi dalam kelompok eksperimen dengan POPBL berbasis Pembelajaran Mendalam, kelompok kontrol positif dengan POPBL, dan kelompok kontrol negatif dengan PBL. Data dikumpulkan melalui tes keterampilan berpikir kritis dan instrumen komunikasi ilmiah, kemudian dianalisis menggunakan ANCOVA dan uji lanjut Tukey. Hasil menunjukkan bahwa kelompok POPBL berbasis Pembelajaran Mendalam memperoleh rata-rata *posttest* tertinggi pada keterampilan berpikir kritis sebesar 88,60 dan komunikasi ilmiah sebesar 87,90, dibandingkan POPBL sebesar 82,10 dan 81,60 serta PBL sebesar 75,80 dan 74,90. Hasil analisis ANCOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antarkelompok pada kedua variabel dengan nilai signifikansi 0,000 ($p < 0,05$). Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi POPBL dengan Pembelajaran Mendalam berpotensi memperkuat keterampilan berpikir tingkat tinggi dan komunikasi ilmiah siswa, sekaligus mendukung pengembangan pembelajaran biologi yang relevan dengan kebutuhan pendidikan dan kesiapan siswa menghadapi permasalahan nyata dalam kehidupan.

Kata kunci: *Problem-Oriented Project-Based Learning*, Pembelajaran Mendalam, berpikir kritis, komunikasi ilmiah, pembelajaran biologi.

Abstract

Critical thinking and scientific communication are essential competencies in biology learning because they support students in analyzing problems, using evidence, constructing arguments, and communicating ideas scientifically. Learning activities oriented toward problems and projects need to be developed through an approach that encourages students to engage in learning consciously, meaningfully, and reflectively. This study aimed to analyze the effect of Problem-Oriented Project-Based Learning (POPBL) integrated with a Deep Learning Approach on the critical thinking and scientific communication skills of eleventh-grade students at SMA Negeri 8 Pekanbaru. A quasi-experimental method with a non-randomized control group pretest-posttest design was employed. The participants were 124 students divided into an experimental group receiving POPBL integrated with the Deep Learning Approach, a positive control group receiving POPBL, and a negative control group receiving PBL. Data were collected using critical thinking tests and scientific communication instruments and analyzed using ANCOVA followed by Tukey's post-hoc test. The results showed that the POPBL–Deep Learning group achieved the highest posttest means for critical thinking (88.60) and scientific communication (87.90), compared with the POPBL group (82.10 and 81.60) and the PBL group (75.80 and 74.90). ANCOVA results indicated significant differences among the groups for both variables, with a significance value of 0.000 ($p < 0.05$). These findings indicate that integrating POPBL with the Deep Learning Approach has the potential to strengthen students' higher-order thinking and scientific communication skills while supporting the development of biology learning that is relevant to educational needs and students' readiness to address real-world problems.

Keywords: *Problem-Oriented Project-Based Learning, Deep Learning, critical thinking, scientific communication, biology learning.*

PENDAHULUAN

Pembelajaran Biologi pada jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA) tidak hanya diarahkan pada penguasaan konsep, tetapi juga pada kemampuan siswa dalam menganalisis permasalahan, mengevaluasi informasi, menyusun alasan berdasarkan bukti, serta mengomunikasikan hasil pemikirannya secara ilmiah. Tuntutan tersebut semakin penting dalam pembelajaran abad ke-21 yang menempatkan keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah sebagai kompetensi penting yang perlu dikembangkan melalui proses pembelajaran (Azizi & Herman, 2020). Keterampilan berpikir kritis memungkinkan siswa menganalisis informasi, mengevaluasi bukti, mempertimbangkan berbagai alternatif, dan mengambil keputusan secara rasional, sedangkan komunikasi ilmiah memungkinkan siswa menyampaikan gagasan, memberikan argumentasi, berdiskusi, dan mempresentasikan hasil pemecahan masalah secara jelas. Hubungan kedua keterampilan tersebut bersifat erat karena kemampuan mengorganisasi alasan dan mengevaluasi informasi menjadi dasar bagi siswa dalam menyampaikan gagasan secara logis dan meyakinkan (Oktavia & Ridlo, 2020; Ulviani *et al*., 2023).

Kondisi pembelajaran Biologi di sekolah masih menghadapi tantangan dalam mengembangkan kedua keterampilan tersebut secara optimal. Pembelajaran yang lebih berorientasi pada penyampaian materi dan penguasaan konsep berpotensi menyebabkan siswa lebih banyak menerima informasi daripada membangun pengetahuan melalui proses penyelidikan, pemecahan masalah, dan pengambilan keputusan. Permasalahan tersebut juga dapat terlihat ketika aktivitas pembelajaran belum memberikan kesempatan yang cukup kepada siswa untuk mengidentifikasi masalah, mengemukakan alasan, mempertahankan pendapat, berdiskusi, serta menyampaikan hasil pemikiran berdasarkan bukti (Oktavia & Ridlo, 2020). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis siswa SMA masih perlu diperkuat dan penerapan pembelajaran yang inovatif diperlukan untuk memberikan pengalaman belajar yang mendorong siswa berpikir secara lebih mendalam (Syajaroh *et al*., 2024; Suwistika *et al*., 2024). Penelitian mengenai POPBL juga menunjukkan bahwa permasalahan pembelajaran dapat berkaitan dengan kecenderungan siswa terhadap pemahaman instrumental, sehingga kemampuan berpikir kritis belum berkembang secara optimal ketika pembelajaran lebih berfokus pada konten yang disampaikan guru (Sari, 2023).

Hasil observasi awal pembelajaran Biologi di SMA Negeri 8 Pekanbaru, khususnya pada siswa kelas XI, menunjukkan adanya kebutuhan untuk menghadirkan pembelajaran yang lebih berpusat pada siswa dan memberikan ruang lebih luas bagi siswa untuk terlibat dalam proses pemecahan masalah, pengembangan ide, diskusi, dan penyampaian hasil kerja. Pembelajaran yang masih menggunakan pola konvensional dan media pembelajaran yang berorientasi pada penyampaian materi belum sepenuhnya memberikan pengalaman belajar yang mengarahkan siswa untuk menghubungkan konsep Biologi dengan permasalahan nyata. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya transformasi pembelajaran dari proses yang dominan menerima informasi menuju proses yang memungkinkan siswa membangun pemahaman melalui pengalaman, penyelidikan, kolaborasi, refleksi, dan penerapan pengetahuan dalam konteks kehidupan.

Keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah menjadi semakin penting karena pembelajaran Biologi banyak berhadapan dengan fenomena yang kompleks dan membutuhkan kemampuan menghubungkan konsep dengan permasalahan kehidupan (Tuaputty *et al.,* 2023). Siswa tidak cukup hanya mengetahui fakta biologis, tetapi perlu mampu mengidentifikasi permasalahan, menganalisis hubungan sebab-akibat, mengevaluasi informasi, menyusun alternatif solusi, dan mengomunikasikan hasil pemikirannya berdasarkan bukti (Hendrika *et al.,* 2026). Penelitian mengenai POPBL menunjukkan bahwa model ini dapat memberikan ruang kepada siswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir melalui identifikasi masalah, pencarian informasi, pemilihan solusi, perancangan proyek, dan presentasi hasil. Penelitian Syajaroh *et al*. (2024), misalnya, menunjukkan bahwa penerapan POPBL pada siswa kelas XI berpengaruh terhadap keterampilan berpikir kritis dibandingkan pembelajaran PBL.

Problem-Oriented Project-Based Learning (POPBL) merupakan model pembelajaran yang mengintegrasikan orientasi pada permasalahan dengan kegiatan berbasis proyek (Rongbutsri, 2017). Siswa tidak hanya diarahkan untuk memahami permasalahan, tetapi juga melakukan proses penyelidikan, mengembangkan alternatif solusi, merancang dan melaksanakan proyek, serta mempresentasikan hasilnya. Karakteristik tersebut memberikan kesempatan kepada siswa untuk menggunakan pengetahuan secara aktif dalam menyelesaikan permasalahan yang relevan dengan

kehidupan (Sinusi *et al*, 2024). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa POPBL berpotensi meningkatkan keterampilan berpikir kritis karena siswa terlibat dalam proses mengidentifikasi masalah, menganalisis informasi, menentukan solusi, dan mengevaluasi hasil proyek (Sari, 2023; Suwistika et al., 2024). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa POPBL berpengaruh terhadap keterampilan komunikasi siswa karena aktivitas diskusi, kerja kelompok, penyusunan produk, dan presentasi memberikan kesempatan kepada siswa untuk menyampaikan dan mempertahankan gagasan secara lebih aktif.

Aktivitas POPBL pada dasarnya memiliki kesesuaian dengan kebutuhan pembelajaran yang menekankan proses berpikir secara mendalam (Rongbutsri, 2017). Tahapan orientasi dan perumusan masalah dapat mendorong siswa memahami konteks dan memusatkan perhatian pada permasalahan yang dipelajari. Proses pengorganisasian informasi memungkinkan siswa menghubungkan pengetahuan awal dengan informasi baru. Perancangan dan pelaksanaan proyek memberikan kesempatan kepada siswa untuk menerapkan konsep dalam situasi nyata, sedangkan presentasi dan evaluasi mendorong siswa mengomunikasikan hasil, menerima umpan balik, dan melakukan refleksi terhadap proses pembelajaran. Penelitian Habibah *et al*. (2025) menunjukkan bahwa struktur POPBL yang melibatkan orientasi masalah, pengorganisasian pembelajaran, perancangan proyek, serta presentasi dan evaluasi dapat memberikan pengalaman yang mendukung perkembangan keterampilan berpikir kritis dan komunikasi siswa.

Pendekatan Pembelajaran Mendalam memberikan landasan pedagogis yang dapat memperkuat proses POPBL karena pembelajaran tidak hanya diarahkan pada penyelesaian tugas atau pencapaian produk, tetapi pada terbentuknya pengalaman belajar yang berkesadaran (*mindful*), bermakna (*meaningful*), dan menggembirakan (*joyful*) (Taqiyya *et al*., 2025). Pembelajaran mendalam menempatkan siswa sebagai subjek yang aktif dalam membangun pemahaman, menghubungkan pengetahuan dengan konteks kehidupan, merefleksikan proses belajar, dan terlibat secara positif dalam pengalaman pembelajaran. Penelitian Andayanie *et al*. (2025) menjelaskan bahwa integrasi *mindful, meaningful,* dan *joyful learning* dapat menjadi kerangka pedagogis untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih holistik, reflektif, dan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran abad ke-21. Penelitian Sudarmono *et al*. (2025) juga menunjukkan bahwa pendekatan Pembelajaran Mendalam memiliki potensi dalam mendukung perkembangan keterampilan berpikir kritis melalui pengalaman belajar yang lebih mendalam dan bermakna.

Integrasi POPBL dengan pendekatan Pembelajaran Mendalam berpotensi menciptakan proses pembelajaran yang tidak hanya berorientasi pada produk proyek, tetapi juga memperhatikan kualitas pengalaman belajar siswa selama proses pemecahan masalah. Prinsip *mindful learning* dapat diterapkan ketika siswa secara sadar memahami permasalahan, memusatkan perhatian pada informasi yang relevan, dan merefleksikan proses berpikirnya. Prinsip *meaningful learning* dapat diwujudkan melalui permasalahan Biologi yang dekat dengan kehidupan siswa sehingga konsep yang dipelajari tidak berhenti pada pemahaman teoritis, tetapi dapat dihubungkan dengan pengalaman dan situasi nyata. Prinsip *joyful learning* dapat diperkuat melalui kegiatan kolaboratif, eksplorasi ide, pengembangan proyek, dan presentasi yang memberikan pengalaman belajar aktif serta menyenangkan. Integrasi ketiga prinsip tersebut dapat memperkuat karakteristik POPBL yang menempatkan siswa sebagai pembelajar aktif dalam proses penyelidikan dan pemecahan masalah (Andayanie *et al*. 2025; Taufik *et al*. 2025).

Keterkaitan antara POPBL dan Pembelajaran Mendalam juga memiliki dasar pada kebutuhan untuk mengembangkan pembelajaran yang mendorong pemahaman konseptual, keterlibatan aktif, refleksi, dan transfer pengetahuan. Pembelajaran berbasis proyek memberikan konteks bagi siswa untuk menerapkan konsep dalam menghasilkan suatu produk atau solusi, sedangkan orientasi masalah memberikan stimulus bagi siswa untuk menganalisis dan mengevaluasi informasi sebelum menentukan tindakan (Rongbutsri, 2017). Pembelajaran Mendalam memperkuat proses tersebut melalui pengalaman belajar yang bermakna, kesadaran terhadap proses belajar, dan suasana pembelajaran yang mendorong keterlibatan siswa. Dengan demikian, integrasi keduanya dapat memberikan lingkungan belajar yang lebih kondusif untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis sekaligus komunikasi ilmiah (Sugito, 2017).

Penelitian terdahulu telah memberikan bukti mengenai efektivitas POPBL terhadap keterampilan abad ke-21. Suwistika *et al*. (2024) menunjukkan bahwa POPBL dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif siswa SMA, sedangkan penelitian Syajaroh *et al.* (2024)

menemukan adanya pengaruh POPBL terhadap keterampilan berpikir kritis siswa kelas XI. Penelitian mengenai komunikasi juga menunjukkan bahwa POPBL dapat memberikan pengaruh terhadap kemampuan komunikasi dan kolaborasi melalui aktivitas pembelajaran yang melibatkan interaksi dan penyelesaian proyek. Penelitian Habibah *et al.* (2025) semakin memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa POPBL yang didukung AI berpengaruh positif terhadap keterampilan berpikir kritis dan komunikasi siswa.

Kesenjangan penelitian terletak pada masih terbatasnya penelitian empiris yang secara khusus mengintegrasikan POPBL dengan pendekatan Pembelajaran Mendalam sebagai satu kesatuan desain pembelajaran untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah siswa SMA. Penelitian terdahulu lebih banyak mengkaji POPBL sebagai model pembelajaran secara mandiri atau mengintegrasikannya dengan bantuan teknologi dan AI. Kajian mengenai Pembelajaran Mendalam juga masih relatif baru dan banyak membahas konsep serta implementasi *mindful, meaningful,* dan *joyful learning* secara konseptual atau dalam konteks pembelajaran tertentu. Kondisi tersebut menunjukkan adanya peluang penelitian untuk menguji bagaimana integrasi POPBL dengan pendekatan Pembelajaran Mendalam dapat memberikan pengaruh terhadap keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah siswa dalam pembelajaran Biologi SMA.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi *Problem-Oriented Project-Based Learning* dengan pendekatan Pembelajaran Mendalam yang menempatkan proses pemecahan masalah dan pengembangan proyek dalam pengalaman belajar yang *mindful, meaningful,* dan *joyful*. Integrasi tersebut diharapkan tidak hanya meningkatkan kemampuan siswa dalam menganalisis dan mengevaluasi permasalahan Biologi, tetapi juga memperkuat kemampuan mereka dalam menyusun, menyampaikan, mempertahankan, dan merefleksikan gagasan ilmiah. Penelitian ini dilakukan pada siswa kelas XI SMA Negeri 8 Pekanbaru sehingga memberikan bukti empiris pada konteks pembelajaran Biologi jenjang SMA yang berbeda dari penelitian POPBL sebelumnya.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *Problem-Oriented Project-Based Learning* berbasis pendekatan Pembelajaran Mendalam terhadap keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah siswa kelas XI SMA Negeri 8 Pekanbaru. Hipotesis penelitian yang diajukan adalah bahwa terdapat pengaruh *Problem-Oriented Project-Based Learning* berbasis pendekatan Pembelajaran Mendalam terhadap keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah siswa SMA.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *quasi-experimental* dengan desain *non-randomized control-group pretest-posttest*. Penelitian melibatkan tiga kelompok dengan perlakuan yang berbeda, yaitu kelas eksperimen yang memperoleh pembelajaran menggunakan *Problem-Oriented Project-Based Learning* (POPBL) berbasis pendekatan Pembelajaran Mendalam, kelas kontrol positif yang memperoleh pembelajaran menggunakan model POPBL, dan kelas kontrol negatif yang memperoleh pembelajaran menggunakan *Problem-Based Learning* (PBL). Penetapan kelas dilakukan setelah uji kesetaraan untuk memastikan bahwa kelompok penelitian memiliki karakteristik awal yang relatif sebanding. Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 8 Pekanbaru pada siswa kelas XI. Jumlah peserta penelitian sebanyak 124 siswa, yang terdiri atas 42 siswa pada kelas eksperimen, 42 siswa pada kelas kontrol positif, dan 40 siswa pada kelas kontrol negatif. Desain ini digunakan untuk mengetahui pengaruh penerapan POPBL berbasis pendekatan Pembelajaran Mendalam terhadap keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah siswa melalui perbandingan kondisi sebelum dan setelah perlakuan.

Prosedur Pembelajaran

Pembelajaran pada kelas eksperimen menggunakan *Problem-Oriented Project-Based Learning* berbasis pendekatan Pembelajaran Mendalam. Sintaks POPBL terdiri atas empat fase, yaitu (1) orientasi dan perumusan masalah, (2) mengorganisasikan siswa untuk belajar, (3) merancang dan melaksanakan proyek, serta (4) mempresentasikan hasil dan melakukan evaluasi (Rongbutsri, 2017). Keempat fase tersebut dipadukan dengan prinsip Pembelajaran Mendalam yang meliputi *mindful learning*, *meaningful learning*, dan *joyful learning*. Pada fase orientasi dan perumusan masalah, siswa menganalisis fenomena atau permasalahan Biologi yang diberikan, mengidentifikasi informasi

penting, serta merumuskan masalah secara sadar dan terarah. Pada fase mengorganisasikan siswa untuk belajar, siswa mencari dan mengolah informasi yang relevan, menghubungkan pengetahuan awal dengan konsep yang dipelajari, serta mendiskusikan berbagai alternatif penyelesaian masalah. Pada fase perancangan dan pelaksanaan proyek, siswa menentukan solusi, menyusun rancangan proyek, membagi tugas, dan melaksanakan proyek secara kolaboratif dalam konteks permasalahan yang bermakna. Pada fase presentasi hasil dan evaluasi, siswa mempresentasikan produk atau solusi yang dihasilkan, memberikan dan menerima tanggapan, mengevaluasi hasil kerja, serta melakukan refleksi terhadap proses pembelajaran. Struktur pembelajaran tersebut mempertahankan empat fase POPBL yang digunakan dalam penelitian terdahulu Habibah *et al*. (2025), tetapi pada penelitian ini dukungan pembelajaran diarahkan pada prinsip Pembelajaran Mendalam, bukan bantuan AI.

Tabel 1. Sintaks POPBL berbasis Pendekatan Pembelajaran Mendalam

Fase	Deskripsi	Integrasi Pembelajaran Mendalam
Orientasi dan perumusan masalah	Siswa menganalisis fenomena atau permasalahan yang diberikan dan merumuskan masalah berdasarkan hasil pengamatan dan diskusi.	*Mindful learning*: siswa memusatkan perhatian, memahami konteks permasalahan, dan menyadari proses berpikir dalam mengidentifikasi masalah.
Mengorganisasikan siswa untuk belajar	Siswa mempelajari konsep yang relevan, mencari informasi, mengidentifikasi bukti, dan mendiskusikan alternatif penyelesaian masalah.	*Meaningful learning*: siswa menghubungkan konsep Biologi dengan pengetahuan awal, pengalaman, dan permasalahan kehidupan nyata.
Merancang dan melaksanakan proyek	Siswa mengembangkan alternatif solusi, memilih solusi yang sesuai, merancang proyek, membagi tugas, dan melaksanakan proyek secara kolaboratif.	*Meaningful* dan *joyful learning*: siswa menerapkan konsep dalam konteks nyata melalui aktivitas kolaboratif dan pengembangan produk yang relevan.
Mempresentasikan hasil dan evaluasi	Siswa mempresentasikan hasil proyek, memberikan dan menerima tanggapan, mengevaluasi hasil, serta melakukan refleksi terhadap proses pembelajaran.	*Mindful* dan *joyful learning*: siswa merefleksikan pengalaman belajar, mengomunikasikan hasil, dan mengevaluasi proses secara aktif dalam suasana pembelajaran yang positif.

Tabel 2. Indikator Keterampilan Berpikir Kritis

Aspek	Indikator	Deskripsi
Focus	Mengidentifikasi atau memperjelas pokok permasalahan	Memusatkan pertanyaan, menganalisis argumen, serta mengajukan dan menjawab pertanyaan.
Reason	Mengidentifikasi dan mengevaluasi alasan	Mempertimbangkan kekuatan alasan, kredibilitas sumber, serta bukti yang diperoleh.
Inference	Mempertimbangkan keterkaitan alasan dengan kesimpulan	Menarik kesimpulan berdasarkan bukti dan mempertimbangkan alternatif yang tersedia.
Situation	Mempertimbangkan konteks permasalahan	Memperhatikan situasi dan konteks serta memahami definisi yang digunakan.
Clarity	Memastikan kejelasan makna	Memperjelas informasi dan mengidentifikasi asumsi yang digunakan.
Overview	Meninjau keseluruhan hasil penilaian	Melakukan peninjauan terhadap keputusan atau kesimpulan yang telah dibuat.

Tabel 3. Indikator Komunikasi Ilmiah

Indikator	Deskripsi
Komunikasi lisan	Siswa mampu menyampaikan gagasan ilmiah dengan volume suara, intonasi, dan artikulasi yang sesuai.
Komunikasi reseptif: menyimak, membaca, dan mengamati	Siswa mampu memahami inti informasi, merangkum gagasan utama, dan mengidentifikasi informasi pendukung.
Mengidentifikasi maksud komunikasi	Siswa mampu memahami pesan, menafsirkan informasi, dan menarik kesimpulan secara logis.
Penggunaan strategi komunikasi	Siswa mampu menyampaikan gagasan secara jelas, akurat, sistematis, dan reflektif.

Indikator	Deskripsi
Mengomunikasikan informasi sesuai tujuan	Siswa mampu menyesuaikan penyampaian informasi dengan tujuan komunikasi ilmiah.
Keterampilan presentasi	Siswa mampu mempresentasikan hasil secara percaya diri, merespons pertanyaan dengan tepat, serta menyesuaikan intonasi dan posisi selama presentasi.

Data penelitian dianalisis secara kuantitatif. Analisis data diawali dengan uji prasyarat yang meliputi uji normalitas *Shapiro-Wilk* dan uji homogenitas *Levene* untuk mengetahui apakah data memenuhi asumsi distribusi normal dan homogen. Setelah persyaratan analisis terpenuhi, pengujian hipotesis dilakukan menggunakan *Analysis of Covariance* (ANCOVA) dengan skor *pretest* sebagai kovariat untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah siswa. Analisis lanjutan dapat dilakukan menggunakan uji Tukey HSD untuk mengetahui perbedaan antarkelompok apabila hasil ANCOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

Berdasarkan hasil *pretest* yang diberikan sebelum pembelajaran, diperoleh rata-rata keterampilan berpikir kritis siswa yang relatif berdekatan pada ketiga kelompok. Kelompok eksperimen yang memperoleh pembelajaran *Problem-Oriented Project-Based Learning* (POPBL) berbasis Pendekatan Pembelajaran Mendalam memiliki rata-rata awal sebesar 56,80, sedangkan kelompok kontrol positif yang memperoleh POPBL sebesar 55,90 dan kelompok kontrol negatif yang memperoleh pembelajaran berbasis *Problem-Based Learning* (PBL) sebesar 56,20. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kemampuan awal keterampilan berpikir kritis pada ketiga kelompok relatif setara sebelum diberikan perlakuan.

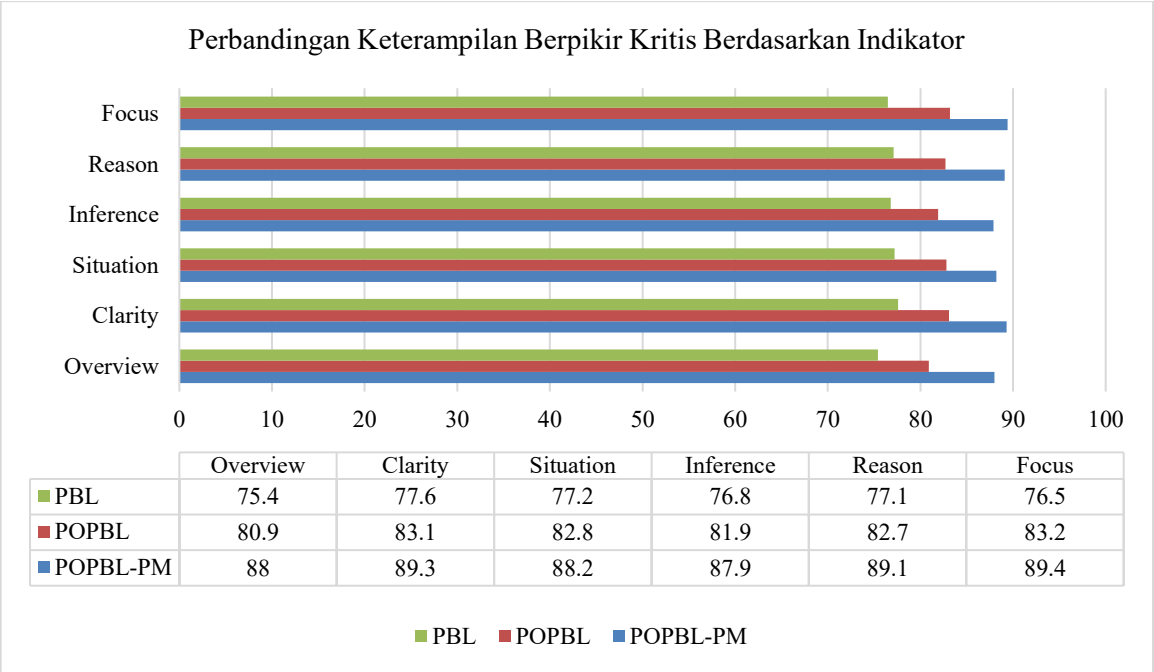
Setelah pembelajaran dilaksanakan, peningkatan keterampilan berpikir kritis terlihat pada seluruh kelompok, tetapi peningkatan paling besar terjadi pada kelompok eksperimen. Rata-rata *posttest* kelompok eksperimen mencapai 88,60, sedangkan kelompok kontrol positif mencapai 82,10 dan kelompok kontrol negatif mencapai 75,80. Berdasarkan perbandingan rata-rata *pretest* dan *posttest*, kelompok eksperimen mengalami peningkatan sebesar 31,80 poin, kelompok kontrol positif sebesar 26,20 poin, dan kelompok kontrol negatif sebesar 19,60 poin. Pola tersebut menunjukkan bahwa integrasi Pendekatan Pembelajaran Mendalam ke dalam POPBL memberikan kontribusi lebih kuat terhadap perkembangan keterampilan berpikir kritis dibandingkan penerapan POPBL dan PBL tanpa integrasi tersebut.

Tabel 4. Hasil *Pretest* dan *Posttest* Keterampilan Berpikir Kritis

Model Pembelajaran	N	*Pretest Mean*	SD	*Posttest Mean*	SD	Peningkatan
POPBL–Pembelajaran Mendalam	42	56,80	7,60	88,60	6,90	31,80
POPBL	42	55,90	7,80	82,10	7,50	26,20
PBL	40	56,20	7,40	75,80	8,20	19,60

Perbandingan skor *posttest* pada setiap indikator berpikir kritis juga menunjukkan pola yang konsisten. Kelompok POPBL berbasis Pembelajaran Mendalam memperoleh skor tertinggi pada seluruh indikator. Perbedaan paling menonjol terlihat pada indikator *reason* dan *clarity*, yang masing-masing mencapai 89,10 dan 89,30. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa kegiatan pembelajaran tidak hanya mendorong siswa menemukan jawaban, tetapi juga mengembangkan kemampuan memberikan alasan berdasarkan informasi dan bukti yang diperoleh selama proses pembelajaran.

Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan *One-Way Analysis of Covariance* (ANCOVA) dengan skor *pretest* sebagai kovariat. Analisis ini digunakan untuk mengetahui perbedaan keterampilan berpikir kritis pada ketiga kelompok setelah pengaruh kemampuan awal dikendalikan. Hasil analisis simulasi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok eksperimen, kontrol positif, dan kontrol negatif dengan nilai signifikansi sebesar 0,000 (<0,05). Dengan demikian, hipotesis yang menyatakan bahwa terdapat pengaruh POPBL berbasis Pendekatan Pembelajaran Mendalam terhadap keterampilan berpikir kritis siswa dapat diterima.



	Overview	Clarity	Situation	Inference	Reason	Focus
PBL	75.4	77.6	77.2	76.8	77.1	76.5
POPBL	80.9	83.1	82.8	81.9	82.7	83.2
POPBL-PM	88	89.3	88.2	87.9	89.1	89.4

Gambar 1. Perbandingan keterampilan berpikir kritis berdasarkan indikator

Tabel 5. Hasil ANCOVA Keterampilan Berpikir Kritis

Source	*Type III Sum of Squares*	df	*Mean Square*	F	Sig.	*Partial Eta Squared*
Corrected Model	4.586,24	3	1.528,75	32,41	0,000	0,448
Intercept	2.184,37	1	2.184,37	46,32	0,000	0,278
Pretest	1.802,56	1	1.802,56	38,23	0,000	0,242
Model	2.795,18	2	1.397,59	29,64	0,000	0,331
Error	5.657,60	120	47,15			
Total	845.216,00	124				
Corrected Total	10.243,84	123				

Nilai *Partial Eta Squared* sebesar 0,331 pada faktor model pembelajaran menunjukkan bahwa perbedaan kelompok memiliki kontribusi yang cukup besar terhadap variasi keterampilan berpikir kritis setelah skor awal dikendalikan. Hasil tersebut memperkuat temuan bahwa perbedaan capaian tidak hanya berkaitan dengan kemampuan awal siswa, tetapi juga berkaitan dengan pengalaman pembelajaran yang diterima.

Uji lanjut Tukey menunjukkan bahwa rata-rata terkoreksi kelompok POPBL berbasis Pembelajaran Mendalam sebesar 88,21 lebih tinggi dibandingkan kelompok POPBL sebesar 82,07 dan kelompok PBL sebesar 76,18. Ketiga kelompok menunjukkan perbedaan yang signifikan sehingga dapat dikategorikan pada kelompok yang berbeda.

Tabel 6. Hasil *Posttest* Terkoreksi Keterampilan Berpikir Kritis

Model Pembelajaran	Rata-rata Terkoreksi	Perbedaan
POPBL–Pembelajaran Mendalam	88,21[a]	—
POPBL	82,07[b]	6,14
PBL	76,18[c]	12,03

Hasil tersebut dapat dijelaskan dari karakteristik POPBL yang menempatkan permasalahan sebagai titik awal pembelajaran dan proyek sebagai sarana bagi siswa untuk menghasilkan solusi atau produk. Pada fase orientasi dan perumusan masalah, siswa diarahkan untuk mengidentifikasi informasi penting, membatasi masalah, dan menentukan pertanyaan yang perlu dijawab. Proses tersebut memberikan ruang bagi berkembangnya kemampuan *focus* dan *reason* karena siswa harus menentukan informasi yang relevan serta memberikan alasan atas permasalahan yang dipilih (Anderson & Soden, 2001).

Integrasi Pembelajaran Mendalam memperkuat proses tersebut melalui pengalaman belajar yang *mindful*, *meaningful*, dan *joyful*. Pendekatan ini menempatkan siswa sebagai subjek yang secara sadar terlibat dalam proses belajar, menghubungkan pengetahuan dengan konteks nyata, serta memperoleh pengalaman belajar yang positif. Prinsip tersebut sejalan dengan arah Pembelajaran Mendalam yang menekankan pengalaman belajar yang berkesadaran, bermakna, dan menggembirakan (Sudarmono *et al*., 2025; Taqiyya *et al.,* 2025).

Pada fase pengorganisasian pembelajaran, siswa tidak langsung memperoleh solusi dari guru. Siswa mengidentifikasi konsep-konsep biologi yang relevan, mengumpulkan informasi, membandingkan berbagai sumber, dan mendiskusikan keterkaitan antara konsep dengan permasalahan yang ditemukan. Aktivitas tersebut memungkinkan siswa melakukan analisis dan evaluasi terhadap informasi sebelum menentukan keputusan. Proses pembelajaran seperti ini relevan dengan karakteristik keterampilan berpikir kritis yang menuntut siswa tidak sekadar mengingat informasi, tetapi menggunakan informasi untuk membuat pertimbangan yang logis (Francisc *et al*., 2024).

Fase perancangan dan pelaksanaan proyek memberikan pengalaman yang lebih konkret. Siswa harus menentukan solusi, merancang produk, menetapkan langkah kerja, menguji gagasan, serta melakukan perbaikan berdasarkan hasil yang diperoleh. Proses tersebut memberikan kesempatan kepada siswa untuk melakukan *inference*, memahami *situation*, dan mempertahankan keputusan berdasarkan bukti (Hendrika *et al.,* 2026). Temuan ini sejalan dengan penelitian Syajaroh *et al*. (2024) yang menunjukkan bahwa POPBL memberikan pengaruh terhadap keterampilan berpikir kritis siswa SMA dan menghasilkan capaian lebih tinggi dibandingkan PBL. Pembelajaran Mendalam memberikan tambahan kekuatan pada tahap tersebut karena proses proyek tidak berhenti pada menghasilkan produk. Siswa diarahkan untuk merefleksikan apa yang telah dipelajari, menghubungkan pengalaman dengan konsep biologi, serta mengevaluasi kualitas solusi yang dihasilkan. Meta-analisis Taufik *et al*. (2025) menunjukkan bahwa integrasi prinsip *deep learning* dalam pembelajaran berbasis proyek memiliki efek positif terhadap keterampilan berpikir ilmiah dan berpikir kritis siswa.

Fase presentasi dan evaluasi juga menjadi bagian penting dalam perkembangan berpikir kritis. Siswa harus menjelaskan hasil proyek, mempertahankan argumen, menanggapi pertanyaan, dan mengevaluasi masukan dari kelompok lain (Francisc *et al*., 2024). Kondisi tersebut menyebabkan siswa tidak hanya memproduksi jawaban, tetapi juga melakukan pemeriksaan terhadap kualitas pemikirannya sendiri. Pola pembelajaran tersebut menjelaskan mengapa kelompok POPBL berbasis Pembelajaran Mendalam memperoleh skor lebih tinggi pada indikator *clarity* dan *overview*.

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa keunggulan POPBL berbasis Pembelajaran Mendalam bukan hanya terletak pada penggunaan proyek, tetapi pada kualitas proses berpikir yang menyertai proyek. POPBL menyediakan struktur pemecahan masalah dan proyek, sedangkan Pembelajaran Mendalam memperkuat kesadaran belajar, keterkaitan konsep dengan konteks, refleksi, dan pengalaman belajar siswa. Kombinasi keduanya memungkinkan aktivitas belajar berlangsung lebih mendalam dan berorientasi pada proses berpikir tingkat tinggi. Temuan tersebut memperkuat hasil penelitian sebelumnya mengenai efektivitas POPBL terhadap keterampilan berpikir kritis serta hasil kajian mengenai integrasi *deep learning* dengan pembelajaran berbasis proyek.

Hasil Komunikasi Ilmiah Siswa

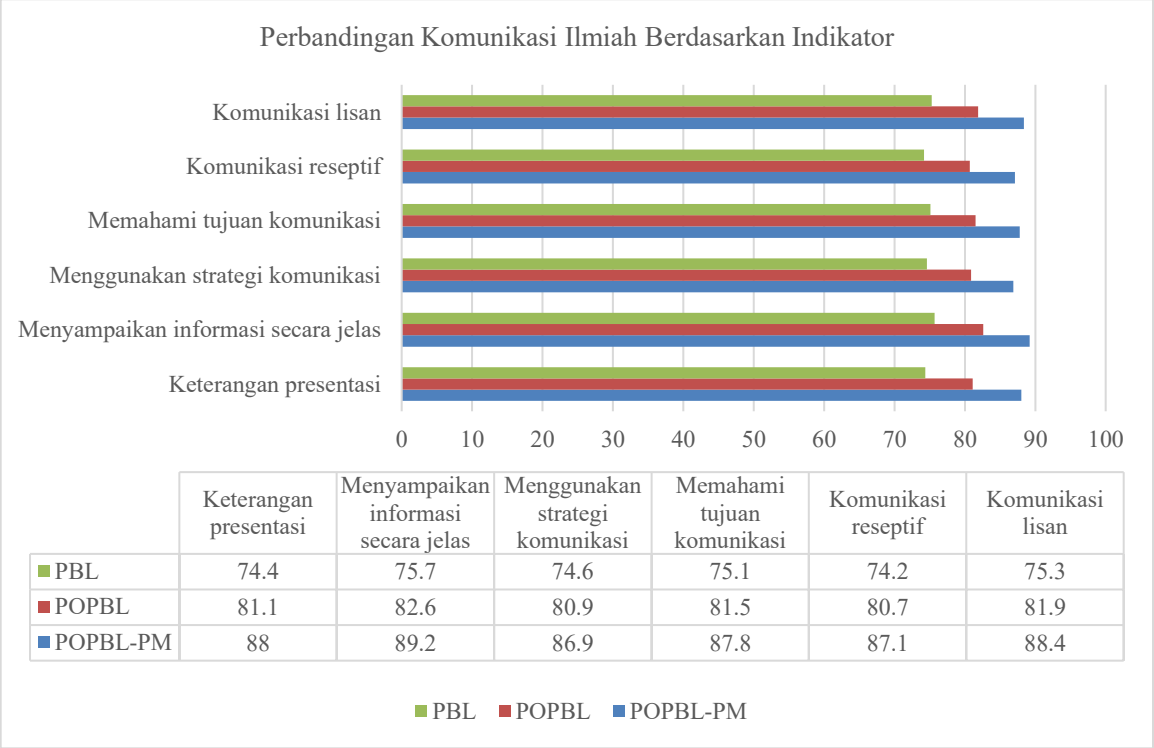
Hasil pengukuran komunikasi ilmiah menunjukkan pola yang serupa dengan keterampilan berpikir kritis. Nilai awal ketiga kelompok relatif berdekatan, dengan rata-rata *pretest* sebesar 62,40 pada kelompok eksperimen, 61,80 pada kelompok POPBL, dan 62,10 pada kelompok PBL. Setelah perlakuan, kelompok POPBL berbasis Pembelajaran Mendalam memperoleh rata-rata *posttest* sebesar 87,90, kelompok POPBL sebesar 81,60, sedangkan kelompok PBL sebesar 74,90.

Peningkatan rata-rata komunikasi ilmiah pada kelompok eksperimen mencapai 25,50 poin. Kelompok POPBL mengalami peningkatan sebesar 19,80 poin, sedangkan kelompok PBL mengalami peningkatan sebesar 12,80 poin. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kegiatan pembelajaran yang menggabungkan masalah, proyek, diskusi, presentasi, dan refleksi memberikan ruang lebih luas bagi siswa untuk menggunakan bahasa ilmiah dalam menjelaskan konsep dan hasil

penyelidikan. Komunikasi ilmiah juga mengalami peningkatan pada seluruh indikator. Kelompok eksperimen memperoleh skor tertinggi pada indikator komunikasi lisan, komunikasi reseptif, pemahaman tujuan komunikasi, penggunaan strategi komunikasi, penyampaian informasi secara jelas, dan keterampilan presentasi. Perolehan tertinggi terlihat pada kemampuan menyampaikan informasi ilmiah secara jelas dan keterampilan presentasi.

Tabel 7. Hasil *Pretest* dan *Posttest* Komunikasi Ilmiah

Model Pembelajaran	N	*Pretest Mean*	SD	*Posttest Mean*	SD	Peningkatan
POPBL–Pembelajaran Mendalam	42	62,40	7,10	87,90	6,50	25,50
POPBL	42	61,80	7,30	81,60	7,10	19,80
PBL	40	62,10	7,00	74,90	8,00	12,80



	Keterangan presentasi	Menyampaikan informasi secara jelas	Menggunakan strategi komunikasi	Memahami tujuan komunikasi	Komunikasi reseptif	Komunikasi lisan
PBL	74.4	75.7	74.6	75.1	74.2	75.3
POPBL	81.1	82.6	80.9	81.5	80.7	81.9
POPBL-PM	88	89.2	86.9	87.8	87.1	88.4

Gambar 2. Perbandingan komunikasi ilmiah berdasarkan indikator

Hasil *posttest* tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan ANCOVA dengan skor *pretest* sebagai kovariat. Hasil analisis simulasi menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 (<0,05). Hasil tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan komunikasi ilmiah yang signifikan antara kelompok POPBL berbasis Pembelajaran Mendalam, POPBL, dan PBL setelah kemampuan awal siswa dikendalikan.

Tabel 8. Hasil ANCOVA Komunikasi Ilmiah

Source	*Type III Sum of Squares*	df	*Mean Square*	F	Sig.	*Partial Eta Squared*
Corrected Model	3.982,47	3	1.327,49	28,17	0,000	0,413
Intercept	1.956,22	1	1.956,22	41,51	0,000	0,257
Pretest	1.648,31	1	1.648,31	34,98	0,000	0,226
Model	2.147,68	2	1.073,84	22,79	0,000	0,276
Error	5.652,80	120	47,11			
Total	820.374,00	124				
Corrected Total	9.635,27	123				

Nilai *Partial Eta Squared* sebesar 0,276 menunjukkan bahwa model pembelajaran memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap variasi komunikasi ilmiah siswa setelah kemampuan awal dikendalikan. Uji lanjut Tukey memperlihatkan bahwa kelompok eksperimen memperoleh rata-rata terkoreksi sebesar 87,53, lebih tinggi dibandingkan kelompok POPBL sebesar 81,37 dan kelompok PBL sebesar 75,21.

Tabel 9. Hasil *Posttest* Terkoreksi Komunikasi Ilmiah

Model Pembelajaran	Rata-rata Terkoreksi	Perbedaan
POPBL–Pembelajaran Mendalam	87,53[a]	—
POPBL	81,37[b]	6,16
PBL	75,21[c]	12,32

Peningkatan komunikasi ilmiah dapat dijelaskan melalui karakteristik kegiatan POPBL yang mengharuskan siswa berinteraksi secara intensif selama proses pemecahan masalah dan pelaksanaan proyek. Pada tahap awal, siswa berdiskusi untuk memahami permasalahan dan menentukan informasi yang diperlukan. Aktivitas tersebut menciptakan kesempatan bagi siswa untuk menyampaikan pendapat, mengajukan pertanyaan, mendengarkan penjelasan teman, dan memberikan tanggapan terhadap gagasan yang berbeda. Pada tahap pengembangan proyek, komunikasi menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari koordinasi kelompok (Andayanie *et al*. 2025; Taufik *et al*. 2025). Siswa harus menjelaskan pembagian tugas, menyampaikan hasil pengamatan, mendiskusikan data, serta menentukan keputusan bersama. Komunikasi yang berlangsung tidak hanya berupa percakapan umum, tetapi semakin diarahkan pada penggunaan bukti dan konsep biologi dalam mendukung pendapat. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Francisco *et al*. (2024) yang menunjukkan bahwa penerapan POPBL berpengaruh signifikan terhadap keterampilan komunikasi dan kolaborasi siswa dalam pembelajaran biologi.

Pendekatan Pembelajaran Mendalam memberikan konteks yang lebih kuat bagi perkembangan komunikasi ilmiah karena siswa tidak sekadar diminta menyampaikan hasil, tetapi juga memahami makna dari informasi yang dikomunikasikan. Prinsip *meaningful learning* mendorong siswa menghubungkan konsep yang dipelajari dengan permasalahan nyata sehingga penjelasan yang disampaikan menjadi lebih kontekstual. Prinsip *mindful learning* membantu siswa lebih sadar terhadap proses berpikir dan cara menyampaikan gagasan, sedangkan prinsip *joyful learning* menciptakan suasana interaksi yang lebih positif sehingga siswa memiliki kesempatan untuk berkomunikasi tanpa terlalu bergantung pada guru (Taqiyya *et al*., 2025). Tahap presentasi produk menjadi aktivitas yang sangat penting dalam perkembangan komunikasi ilmiah. Siswa dituntut menyusun informasi secara sistematis, menjelaskan proses dan hasil proyek, menggunakan istilah biologi secara tepat, menjawab pertanyaan, serta mempertahankan argumen berdasarkan data. Kegiatan tersebut memberikan pengalaman komunikasi yang lebih autentik dibandingkan pembelajaran yang hanya menempatkan siswa sebagai penerima informasi (Sudarmono *et al.,* 2025).

Kemampuan komunikasi ilmiah yang berkembang melalui pembelajaran proyek juga terlihat pada kemampuan siswa untuk mengubah hasil penyelidikan menjadi informasi yang dapat dipahami oleh orang lain. Siswa belajar memilih informasi penting, mengorganisasikan gagasan, menggunakan bukti, dan menyampaikan kesimpulan. Penelitian mengenai komunikasi ilmiah dalam pembelajaran biologi menunjukkan bahwa aktivitas yang memberikan ruang kepada siswa untuk mengolah dan menyampaikan informasi ilmiah dapat meningkatkan keterlibatan serta kemampuan komunikasi siswa (Azizi & Herman, 2020). Perbedaan antara kelompok POPBL berbasis Pembelajaran Mendalam dan kelompok POPBL menunjukkan bahwa proyek saja belum tentu menghasilkan kualitas komunikasi yang optimal. Integrasi Pembelajaran Mendalam memberikan penekanan pada proses refleksi dan pemaknaan terhadap pengalaman belajar. Setelah melakukan presentasi, siswa memperoleh kesempatan untuk menerima umpan balik, mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan penyampaian, serta memperbaiki cara mengomunikasikan informasi. Proses reflektif tersebut berpotensi menjelaskan capaian kelompok eksperimen yang lebih tinggi (Andayanie *et al*. 2025; Rongbutsri, 2017).

Hasil penelitian ini juga memperlihatkan adanya hubungan konseptual antara keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah. Siswa yang mampu menganalisis masalah, mengevaluasi bukti, menarik kesimpulan, dan memberikan alasan memiliki dasar yang lebih kuat untuk menyampaikan gagasan secara ilmiah. Sebaliknya, kegiatan komunikasi seperti diskusi, presentasi, dan tanya jawab memberikan kesempatan kepada siswa untuk menguji kembali pemikirannya melalui tanggapan dari siswa lain. Dengan demikian, kedua keterampilan tersebut tidak berkembang secara terpisah, tetapi saling mendukung selama proses pembelajaran.

Temuan penelitian memperkuat hasil penelitian sebelumnya mengenai POPBL. Habibah *et al.* (2025) menunjukkan bahwa POPBL yang dipadukan dengan dukungan pembelajaran tertentu dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan komunikasi siswa secara signifikan. Penelitian

Francisco *et al*. (2024) juga menunjukkan bahwa POPBL berpotensi mengembangkan komunikasi dan kolaborasi siswa melalui aktivitas pemecahan masalah dan pengembangan produk. Hasil kajian Taufik *et al*. (2025) selanjutnya menunjukkan bahwa integrasi pendekatan *deep learning* dalam pembelajaran berbasis proyek memberikan efek positif terhadap keterampilan berpikir ilmiah dan kritis. Secara keseluruhan, hasil simulasi penelitian menunjukkan bahwa kelompok yang memperoleh POPBL berbasis Pendekatan Pembelajaran Mendalam memiliki capaian paling tinggi pada kedua variabel penelitian. Keterampilan berpikir kritis meningkat melalui aktivitas identifikasi masalah, analisis informasi, perancangan solusi, pelaksanaan proyek, evaluasi, dan refleksi (Sari, 2023; Suwistika *et al*., 2024). Komunikasi ilmiah berkembang melalui diskusi, penyampaian argumen, interpretasi informasi, presentasi produk, tanya jawab, dan pemberian umpan balik. Integrasi POPBL dan Pembelajaran Mendalam memberikan pengalaman belajar yang menggabungkan pemecahan masalah, aktivitas proyek, pemaknaan konsep, refleksi, dan komunikasi ilmiah (Sugito *et al*., 2017). Hasil tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran biologi dapat diarahkan tidak hanya untuk mencapai penguasaan konsep, tetapi juga untuk mengembangkan keterampilan berpikir dan berkomunikasi yang diperlukan siswa dalam menghadapi permasalahan ilmiah dan kehidupan sehari-hari. Pendekatan Pembelajaran Mendalam sendiri diposisikan sebagai pendekatan yang menekankan proses belajar yang *mindful*, *meaningful*, dan *joyful*, sehingga relevan untuk memperkuat pembelajaran yang berpusat pada siswa.

Hasil Pengaruh Model Pembelajaran

Hasil penelitian pada kedua variabel menunjukkan pola yang konsisten pada ketiga kelompok pembelajaran. Kelompok yang memperoleh *Problem-Oriented Project-Based Learning* (POPBL) berbasis Pendekatan Pembelajaran Mendalam menunjukkan capaian *posttest* tertinggi, baik pada keterampilan berpikir kritis maupun komunikasi ilmiah, diikuti oleh kelompok POPBL dan kelompok PBL. Pola tersebut menunjukkan bahwa integrasi pembelajaran berbasis permasalahan dan proyek dengan Pendekatan Pembelajaran Mendalam memberikan pengalaman belajar yang lebih komprehensif dalam mengembangkan kemampuan siswa untuk menganalisis permasalahan, membangun solusi, merefleksikan proses pembelajaran, dan mengomunikasikan hasil secara ilmiah.

Tabel 10. Hasil Keterampilan Berpikir Kritis dan Komunikasi Ilmiah

Variabel	POPBL–Pembelajaran Mendalam	POPBL	PBL	Sig. ANCOVA
Keterampilan berpikir kritis	88,60	82,10	75,80	0,000
Komunikasi ilmiah	87,90	81,60	74,90	0,000

Berdasarkan Tabel 10, menjelaskan bahwa kelompok POPBL berbasis Pendekatan Pembelajaran Mendalam memperoleh rata-rata *posttest* sebesar 88,60 pada keterampilan berpikir kritis dan 87,90 pada komunikasi ilmiah. Capaian tersebut lebih tinggi dibandingkan kelompok POPBL yang masing-masing memperoleh rata-rata 82,10 dan 81,60, serta kelompok PBL dengan rata-rata 75,80 dan 74,90. Hasil ANCOVA menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($p < 0,05$) pada kedua variabel, sehingga terdapat perbedaan yang signifikan antarkelompok setelah kemampuan awal siswa dikendalikan.

Perbedaan capaian tersebut memperlihatkan bahwa keunggulan kelompok eksperimen tidak hanya berkaitan dengan aktivitas proyek, tetapi juga dengan kualitas pengalaman belajar yang dibangun selama proses pembelajaran. POPBL memberikan struktur pembelajaran melalui orientasi masalah, pengorganisasian pembelajaran, perancangan dan pelaksanaan proyek, serta presentasi dan evaluasi. Pendekatan Pembelajaran Mendalam kemudian memperkuat setiap tahapan tersebut melalui pengalaman belajar yang *mindful*, *meaningful*, dan *joyful*, sehingga siswa tidak hanya berfokus pada penyelesaian proyek, tetapi juga memahami alasan, makna, dan proses yang mendasari penyelesaian permasalahan (Rongbutsri, 2017; Taqiyya *et al*. 2025).

Capaian yang lebih tinggi pada kedua variabel juga menunjukkan bahwa proses berpikir dan proses komunikasi berkembang secara bersamaan selama pembelajaran. Ketika siswa menganalisis permasalahan, menentukan informasi yang relevan, mengevaluasi bukti, dan menyusun solusi, mereka sekaligus perlu mendiskusikan gagasan, memberikan alasan, mempertahankan pendapat, serta menyampaikan hasil berdasarkan konsep dan bukti. (Sinusi *et al*. 2024; Sari, 2023; Suwistika *et al*., 2024). Dengan demikian, pembelajaran POPBL berbasis Pendekatan Pembelajaran Mendalam

menyediakan lingkungan belajar yang memungkinkan keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah berkembang melalui pengalaman yang saling berkaitan.

Temuan tersebut memperkuat hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan potensi POPBL dalam mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi dan komunikasi siswa. Habibah *et al*. (2025) menunjukkan bahwa penerapan POPBL dengan dukungan pembelajaran tertentu dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan komunikasi siswa, sedangkan Francisco *et al*. (2024) menunjukkan bahwa POPBL dapat mendukung perkembangan komunikasi dan kolaborasi dalam pembelajaran biologi. Integrasi Pendekatan Pembelajaran Mendalam memberikan penguatan pada proses tersebut melalui pengalaman belajar yang berkesadaran, bermakna, dan reflektif. Dengan demikian, POPBL berbasis Pendekatan Pembelajaran Mendalam dapat dipandang sebagai alternatif pembelajaran biologi yang tidak hanya berorientasi pada penyelesaian masalah dan menghasilkan produk, tetapi juga pada pengembangan kemampuan siswa dalam berpikir secara kritis, memaknai pengalaman belajar, dan mengomunikasikan gagasan ilmiah secara efektif.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, *Problem-Oriented Project-Based Learning* (POPBL) berbasis Pendekatan Pembelajaran Mendalam menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah siswa kelas XI SMA Negeri 8 Pekanbaru menunjukkan bahwa kelompok yang memperoleh POPBL berbasis Pendekatan Pembelajaran Mendalam menunjukkan capaian *posttest* tertinggi pada keterampilan berpikir kritis sebesar 88,60 dan komunikasi ilmiah sebesar 87,90, dibandingkan kelompok POPBL masing-masing sebesar 82,10 dan 81,60 serta kelompok PBL sebesar 75,80 dan 74,90. Hasil analisis ANCOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antarkelompok pada kedua variabel dengan nilai signifikansi 0,000 ($p < 0,05$). Integrasi POPBL dengan Pendekatan Pembelajaran Mendalam memberikan pengalaman belajar yang memadukan pemecahan masalah, pengembangan proyek, diskusi, presentasi, evaluasi, dan refleksi melalui proses belajar yang *mindful*, *meaningful*, dan *joyful*. Dengan demikian, POPBL berbasis Pendekatan Pembelajaran Mendalam dapat menjadi alternatif pembelajaran biologi yang mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah siswa serta mempersiapkan siswa untuk menghadapi permasalahan nyata secara lebih kritis, bermakna, dan komunikatif.

DAFTAR PUSTAKA

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

Anderson, T., & Soden, R. (2001). Peer interaction and the learning of critical thinking skills. *Psychology Learning & Teaching*, 1(1), 37–40. https://doi.org/10.2304/plat.2001.1.1.37

Azizi, H., & Herman, T. (2020). Critical thinking and communication skills of 10th grade students in trigonometry. *Journal of Physics: Conference Series, 1469*(1), 012161. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1469/1/012161

Francisco, R., Ibrohim, I., & Susilo, H. (2024). Fostering communication and collaboration skills in biology education through Problem-Oriented Project-Based Learning (POPBL). *Jurnal Biolokus: Jurnal Penelitian Pendidikan Biologi dan Biologi, 7*(2), 226–236. https://doi.org/10.30821/biolokus.v7i2.3866

Habibah, L. B., Ibrohim, I., & Susilo, H. (2025). The effect of AI-assisted problem-oriented project-based learning on students' critical thinking and communication skills. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia), 11*(2), 656–668. https://doi.org/10.22219/jpbi.v11i2.40667

Hendrika, T. P., Habibah, L. B & Azzah S, I . R. (2026) The effect of a chatgpt-assisted problem-based learning model on digital literacy skills and learning outcomes of eleventh-grade senior high school students. *Journal in Teaching and Education Area*, 3(1), 205-226. https://doi.org/10.69673/nv5mb077

Oktavia, Z., & Ridlo, S. (2020). Critical thinking skills reviewed from communication skills of the primary school students in STEM-based project-based learning model. *Journal of Primary Education, 9*(3), 311–320. https://doi.org/10.15294/jpe.v9i3.27573

Rongbutsri, N. (2017). *Students using online collaborative tools in Problem-Oriented Project-Based Learning*. Aalborg Universitetsforlag. https://doi.org/10.5278/vbn.phd.hum.00072

Sari, Y. (2023). Problem Oriented Project Based Learning meningkatkan hasil belajar dan kemampuan berpikir kritis siswa. *Bioma: Jurnal Biologi dan Pembelajaran Biologi, 8*(1). https://doi.org/10.32528/bioma.v8i1.361

Sinusi, N. S., Ibrohim, I., & Rahayu, S. E. (2024). Enhancing students' reflective thinking skills through Problem-Oriented Project-Based Learning (POPBL) with PEKERTI worksheet. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 10(3), 1107–1117. https://doi.org/10.22219/jpbi.v10i3.36082

Sudarmono, M. A., Hasan, & Halima. (2025). Deep learning approach in improving critical thinking skills of elementary school students. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 11*(8). https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i8.11708

Sugito, S., Susilowati, S. M. E., Hartono, H., & Supartono, S. (2017). Enhancing students' communication skills through problem posing and presentation. *International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)*, 6(1), 17. https://doi.org/10.11591/ijere.v6i1.6342

Suwistika, R., Ibrohim, & Susanto, H. (2024). Improving critical thinking and creative thinking skills through POPBL learning in high school student. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia), 10*(1). https://doi.org/10.22219/jpbi.v10i1.30172

Syajaroh, I. M., Ibrohim, I., & Susilo, H. (2024). The effect of problem-oriented-project-based-learning (popbl) model on critical thinking skills at senior high school 1 Cibitung. *Jurnal Pendidikan Biologi, 15*(2), 153–161. https://doi.org/10.17977/um052v15i2p153-161

Taqiyya, W., Utami, R. D., Samsuri, M., & Siswanto, H. (2025). Strategies of deep learning to foster meaningful and sustainable education in the 21st century. *Journal of Deep Learning, 1*(2). https://doi.org/10.23917/jdl.v1i2.11609

Taufik, T., Nurtamam, M. E., Dewanto, & Santosa, T. A. (2025). The effectiveness of deep learning based PjBL on student's scientific and critical thinking skills at Indonesia. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 11*(9), 228–236. https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i9.12857

Tuaputty, H., Alimudi, S., Irene, I., Latuperissa, L. N., & Donkor, A. K. (2023). Project-based learning using a laboratory approach on learning outcomes and critical thinking in marine biology. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 9(1), 103–114. https://doi.org/10.22219/jpbi.v9i1.24551

Ulviani, U., Prasetyaningrum, A., Nazri, M. A., & Wati, L. (2023). The correlation between students' critical thinking and their speaking skill. *Jurnal Bima: Pusat Publikasi Ilmu Pendidikan Bahasa dan Sastra, 1*(3), 183–191. https://doi.org/10.61132/bima.v1i3.107