

## Efektivitas Pembelajaran Berbasis Masalah Terintegrasi STEAM Berbantuan Labirin terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik

Eni Windiastuti, Nancy Susiann, Nerru Pranuta Murnaka

Universitas Katolik Parahyangan, Indonesia

e-mail: [8272401004@student.unpar.ac.id](mailto:8272401004@student.unpar.ac.id)

### Abstract

*Critical thinking is one of the essential competencies that must be developed in science education to prepare students for the challenges of the twenty-first century. Instruction on wave concepts at the junior high school level remains predominantly teacher-centered, so student engagement in critical thinking processes has not been optimal. This study analyzed the effect of integrating the Labirin framework into Problem-Based Learning (PBL) with a STEAM approach on junior high school students' critical thinking skills in learning wave concepts. A quasi-experimental method with a Nonequivalent Control Group Design was applied to 52 eighth-grade students, divided into an experimental class (26 students) and a control class (26 students). The research instrument was an essay-based critical thinking test developed from Facione's indicators. Data were analyzed using descriptive statistics, normality and homogeneity tests, and an independent samples t-test on Normalized Gain (N-Gain) scores. The experimental class achieved a higher mean N-Gain (0.671) than the control class (0.400). The independent samples t-test yielded a significance value of 0.000 ( $p < 0.05$ ), indicating a statistically significant difference in critical thinking improvement between the two groups. Integrating the Labirin framework into STEAM-based PBL created a more active, interactive, and meaningful learning experience that effectively enhanced junior high school students' critical thinking skills.*

**Keywords:** Critical thinking skills; problem-based learning; STEAM; Labirin; wave concepts.

### Abstrak

*Keterampilan berpikir kritis merupakan salah satu kompetensi esensial yang perlu dikembangkan dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam untuk mempersiapkan murid menghadapi tantangan abad ke-21. Pembelajaran pada materi gelombang di jenjang sekolah menengah pertama masih cenderung berpusat pada guru sehingga keterlibatan murid dalam proses berpikir kritis belum optimal. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh integrasi Labirin dalam Pembelajaran Berbasis Masalah (PBM) berbasis STEAM terhadap keterampilan berpikir kritis murid sekolah menengah pertama pada materi gelombang. Metode kuasi eksperimen dengan Desain Kelompok Kontrol Non-ekuivalen digunakan pada 52 murid kelas VIII yang terbagi menjadi kelas eksperimen (26 murid) dan kelas kontrol (26 murid). Instrumen penelitian berupa tes uraian keterampilan berpikir kritis yang disusun berdasarkan indikator Facione. Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif, uji normalitas, uji homogenitas, dan uji-t sampel independen terhadap skor Gain Ternormalisasi (N-Gain). Hasil penelitian menunjukkan rerata N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,671, lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,400. Uji-t sampel independen memperoleh nilai signifikansi 0,000 ( $p < 0,05$ ) yang menunjukkan perbedaan peningkatan keterampilan berpikir kritis yang signifikan antara kedua kelas. Integrasi Labirin dalam PBM berbasis STEAM terbukti efektif menciptakan pengalaman belajar yang lebih*

*aktif, interaktif, dan bermakna sehingga mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis murid sekolah menengah pertama*

**Kata kunci:** keterampilan berpikir kritis; pembelajaran berbasis masalah; STEAM; Labirin; gelombang.

## Pendahuluan

Keterampilan berpikir kritis merupakan salah satu kompetensi utama yang harus dimiliki murid dalam menghadapi tantangan abad ke-21. Dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA), keterampilan ini berperan penting untuk membantu murid memahami konsep ilmiah, menganalisis fenomena alam, mengevaluasi informasi, menyusun argumentasi berdasarkan bukti, serta mengambil keputusan secara rasional. Ennis (2015) menegaskan bahwa berpikir kritis pada dasarnya merupakan proses berpikir reflektif yang beralasan dan diarahkan pada pengambilan keputusan tentang apa yang perlu diyakini atau dilakukan. Pengembangan keterampilan tersebut menjadi salah satu tujuan penting pembelajaran IPA karena mendukung murid dalam memecahkan berbagai permasalahan yang dijumpai pada kehidupan sehari-hari (Facione, 2020).

Urgensi pengembangan keterampilan berpikir kritis sejalan dengan hasil Programme for International Student Assessment (PISA) tahun 2022 yang menunjukkan capaian sains murid Indonesia masih berada di bawah rerata negara anggota OECD (OECD, 2023). Data tersebut memperlihatkan bahwa sebagian besar murid mengalami kesulitan ketika dihadapkan pada soal yang menuntut kemampuan menganalisis, mengevaluasi, dan menerapkan konsep ilmiah dalam konteks kehidupan nyata. Kondisi ini menjadi indikasi kuat bahwa pembelajaran IPA di Indonesia masih perlu diarahkan pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi, khususnya berpikir kritis, melalui pengalaman belajar yang lebih bermakna.

Permasalahan serupa ditemukan pula pada pembelajaran materi gelombang di salah satu sekolah menengah pertama swasta di Kota Bandung. Hasil observasi awal memperlihatkan bahwa murid masih kesulitan menghubungkan konsep gelombang dengan fenomena sehari-hari, menyusun argumentasi ilmiah, dan menentukan solusi atas permasalahan yang diberikan. Murid cenderung menunggu penjelasan guru dibandingkan melakukan penyelidikan secara mandiri selama pembelajaran berlangsung, sementara aktivitas diskusi kelompok belum sepenuhnya mendorong mereka membangun alasan berdasarkan bukti. Pembelajaran yang mampu menciptakan pengalaman belajar lebih aktif menjadi kebutuhan mendesak agar murid terlibat langsung dalam mengidentifikasi masalah, melakukan penyelidikan, berdiskusi, dan merefleksikan hasil belajarnya.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa Pembelajaran Berbasis Masalah (PBM) merupakan salah satu model pembelajaran yang efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis. Meta-analisis Liu dan Pásztor (2022) melaporkan bahwa PBM memberikan pengaruh positif terhadap kemampuan berpikir kritis pada berbagai jenjang pendidikan, dan temuan tersebut diperkuat oleh Lu et al. (2025) yang mencatat ukuran pengaruh sebesar 1,081, termasuk kategori besar. Kajian sistematis Anggraeni et al. (2023) turut menegaskan bahwa PBM secara konsisten mampu menumbuhkan kemampuan murid dalam menganalisis informasi, mengevaluasi berbagai alternatif solusi, serta mengambil keputusan berdasarkan bukti ilmiah.

Pendekatan STEAM turut berkontribusi meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi melalui integrasi berbagai disiplin ilmu dalam menyelesaikan permasalahan kontekstual (Yakman & Lee, 2012). Pembelajaran berbasis STEAM memberi kesempatan kepada murid untuk mengembangkan kreativitas, kolaborasi, komunikasi, dan kemampuan memecahkan masalah melalui aktivitas penyelidikan serta perancangan solusi. Kajian Perignat dan Katz-Buonincontro

(2019) memperlihatkan bahwa integrasi PBM dengan STEAM menghasilkan pembelajaran yang lebih bermakna dibandingkan penerapan salah satu pendekatan secara terpisah, sebab murid terlibat aktif dalam proses penyelidikan, diskusi, eksperimen, dan refleksi pembelajaran.

Telaah terhadap berbagai penelitian tersebut memperlihatkan bahwa sebagian besar kajian masih berfokus pada efektivitas PBM, pendekatan STEAM, maupun integrasi keduanya dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis. Penelitian-penelitian itu umumnya menempatkan PBM sebagai model pembelajaran dan STEAM sebagai pendekatan multidisiplin, sementara desain pengalaman belajar murid agar implementasi pembelajaran menjadi lebih optimal belum banyak menjadi perhatian utama. Kualitas pengalaman belajar sesungguhnya merupakan faktor penting yang menentukan keterlibatan murid dalam membangun pengetahuan, mengembangkan argumentasi ilmiah, serta merefleksikan proses berpikirnya, sehingga diperlukan suatu kerangka pembelajaran yang mampu memperkaya implementasi PBM berbasis STEAM agar pengalaman belajar murid menjadi lebih aktif, interaktif, dan reflektif.

Kesenjangan penelitian tersebut mendorong penelitian ini menawarkan kebaruan melalui integrasi Labirin sebagai kerangka pembelajaran dalam implementasi PBM berbasis STEAM. Penelitian ini memosisikan Labirin sebagai kerangka pengalaman belajar yang dirancang melalui tiga dimensi utama, yaitu SERU, INTERAKTIF, dan UNIK, berbeda dengan penelitian sebelumnya yang berfokus pada model maupun pendekatan pembelajaran semata. Dimensi SERU diwujudkan melalui aktivitas pembelajaran yang menantang sehingga meningkatkan motivasi dan keterlibatan murid, dimensi INTERAKTIF diwujudkan melalui diskusi kelompok, presentasi, kolaborasi, serta dukungan bertahap dari guru yang mendorong murid membangun pengetahuan secara bersama-sama, sedangkan dimensi UNIK memberi ruang bagi murid untuk mengeksplorasi berbagai alternatif penyelesaian masalah sesuai karakteristik dan potensi masing-masing kelompok.

Labirin dalam kerangka ini tidak berfungsi sebagai pelengkap pembelajaran, melainkan sebagai kerangka pembelajaran yang memperkaya implementasi PBM berbasis STEAM melalui pengalaman belajar yang lebih aktif, interaktif, kontekstual, dan reflektif. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh integrasi Labirin dalam PBM berbasis STEAM terhadap keterampilan berpikir kritis murid sekolah menengah pertama pada materi gelombang. Hasilnya diharapkan memberi kontribusi terhadap pengembangan pembelajaran IPA melalui pemanfaatan Labirin sebagai kerangka yang memperkaya implementasi PBM berbasis STEAM sehingga menghasilkan pengalaman belajar yang lebih bermakna dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis murid.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pergeseran fokus kajian, dari sekadar menguji efektivitas model atau pendekatan pembelajaran menuju perancangan pengalaman belajar sebagai faktor penentu keberhasilan implementasi PBM berbasis STEAM. Berbeda dari penelitian Liu dan Pásztor (2022), Lu et al. (2025), maupun Perignat dan Katz-Buonincontro (2019) yang menekankan efektivitas model dan pendekatan secara terpisah, penelitian ini menempatkan integrasi Labirin sebagai kerangka pengalaman belajar yang secara khusus dirancang untuk memperkuat setiap tahapan PBM berbasis STEAM pada materi gelombang di jenjang sekolah menengah pertama. Posisi inilah yang menjadi nilai kebaruan utama penelitian ini sekaligus pembeda dengan kajian-kajian sejenis yang telah dipublikasikan sebelumnya.

## Metode

Penelitian ini menggunakan metode kuasi eksperimen dengan Desain Kelompok Kontrol Non-ekuivalen. Desain ini dipilih karena peneliti tidak melakukan pengacakan subjek penelitian, melainkan menggunakan kelas yang telah ada di sekolah sebagai kelas eksperimen dan kelas

kontrol. Kelas eksperimen memperoleh pembelajaran melalui integrasi Labirin dalam PBM berbasis STEAM, sedangkan kelas kontrol memperoleh pembelajaran menggunakan PBM tanpa integrasi Labirin.

Penelitian dilaksanakan pada semester genap Tahun Ajaran 2025/2026 di salah satu sekolah menengah pertama swasta di Kota Bandung. Subjek penelitian terdiri atas dua kelas VIII yang dipilih menggunakan teknik pengambilan sampel bertujuan berdasarkan kesetaraan kemampuan akademik yang ditunjukkan melalui nilai Asesmen Sumatif Akhir Tahun (ASAT). Kelas eksperimen terdiri atas 26 murid dan kelas kontrol juga terdiri atas 26 murid, sehingga jumlah keseluruhan subjek penelitian adalah 52 murid.

Instrumen penelitian berupa tes keterampilan berpikir kritis berbentuk soal uraian yang disusun berdasarkan indikator berpikir kritis Facione, meliputi interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, dan regulasi diri. Instrumen tersebut telah melalui proses validasi oleh ahli dan uji coba untuk mengetahui validitas, reliabilitas, tingkat kesukaran, serta daya pembeda soal sebelum digunakan sebagai alat pengumpul data.

Data penelitian diperoleh melalui pelaksanaan prates dan pascates pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol. Skor prates digunakan untuk mengetahui kemampuan awal murid, sedangkan skor pascates digunakan untuk mengetahui kemampuan murid setelah pembelajaran berlangsung. Peningkatan keterampilan berpikir kritis dianalisis menggunakan skor Gain Ternormalisasi (N-Gain) mengikuti prosedur yang dikembangkan oleh Hake (1998) dan disempurnakan oleh Meltzer (2002). Analisis data dilakukan menggunakan statistik deskriptif dan statistik inferensial dengan bantuan perangkat lunak IBM SPSS Statistics, meliputi penghitungan rerata, standar deviasi, nilai minimum, nilai maksimum, dan skor N-Gain pada masing-masing kelas.

Pengujian hipotesis didahului oleh uji normalitas menggunakan uji Shapiro-Wilk dan uji homogenitas menggunakan uji Levene. Data N-Gain pada penelitian ini berdistribusi normal, tetapi tidak memenuhi asumsi homogenitas varians, sehingga pengujian hipotesis dilakukan menggunakan uji-t sampel independen dengan mengacu pada hasil asumsi varians tidak sama (uji-t Welch) pada taraf signifikansi 0,05.

## Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh integrasi Labirin dalam PBM berbasis STEAM terhadap keterampilan berpikir kritis murid sekolah menengah pertama pada materi gelombang. Hasil penelitian disajikan berdasarkan skor prates, pascates, dan N-Gain sebagai indikator peningkatan keterampilan berpikir kritis setelah pembelajaran.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Keterampilan Berpikir Kritis Murid

| Kelas      | Prates (Rerata $\pm$ SB) | Pascates (Rerata $\pm$ SB) | N-Gain (Rerata $\pm$ SB) |
|------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Kontrol    | 26,47 $\pm$ 9,36         | 56,87 $\pm$ 17,04          | 0,400 $\pm$ 0,275        |
| Eksperimen | 32,60 $\pm$ 7,43         | 77,47 $\pm$ 12,16          | 0,671 $\pm$ 0,156        |

Tabel 1 memperlihatkan peningkatan keterampilan berpikir kritis pada kedua kelas setelah pembelajaran berlangsung. Rerata skor kelas eksperimen meningkat dari 32,60 pada prates menjadi 77,47 pada pascates dengan nilai N-Gain sebesar 0,671, sedangkan rerata skor kelas kontrol meningkat dari 26,47 menjadi 56,87 dengan nilai N-Gain sebesar 0,400. Peningkatan pada kelas eksperimen tercatat lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol meskipun kedua kelas sama-sama mengalami kenaikan skor.



Gambar 1. Perbandingan skor prates, pascates, dan N-Gain keterampilan berpikir kritis murid

Gambar 1 memperlihatkan perbandingan visual rerata skor prates, pascates, dan N-Gain pada kelas kontrol dan kelas eksperimen yang mengonfirmasi pola peningkatan sebagaimana dipaparkan pada Tabel 1. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi Labirin dalam PBM berbasis STEAM berpotensi memberikan pengalaman belajar yang lebih efektif dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis murid.

Uji-t sampel independen selanjutnya dilakukan terhadap skor N-Gain untuk mengetahui signifikansi statistik perbedaan peningkatan keterampilan berpikir kritis antara kedua kelas. Hasil uji prasyarat menunjukkan bahwa data N-Gain berdistribusi normal, tetapi tidak memenuhi asumsi homogenitas varians, sehingga pengujian hipotesis mengacu pada hasil asumsi varians tidak sama (uji-t Welch).

Tabel 1. Hasil Uji-t Sampel Independen terhadap Skor N-Gain Keterampilan Berpikir Kritis

| Statistik              | Nilai  |
|------------------------|--------|
| t                      | 4,372  |
| Derajat kebebasan (df) | 39,527 |
| Signifikansi (2 sisi)  | 0,000  |

Tabel 2 menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 ( $p < 0,05$ ), sehingga terdapat perbedaan peningkatan keterampilan berpikir kritis yang signifikan antara murid kelas eksperimen dan kelas kontrol. Pembelajaran melalui integrasi Labirin dalam PBM berbasis STEAM, dengan demikian, memberikan peningkatan keterampilan berpikir kritis yang lebih baik dibandingkan PBM tanpa integrasi Labirin.

Penerapan integrasi Labirin dalam PBM berbasis STEAM secara keseluruhan terbukti berkontribusi terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis murid, sebagaimana ditunjukkan pada hasil di atas. Temuan ini menjadi dasar pembahasan lebih lanjut mengenai faktor-faktor yang berkontribusi terhadap peningkatan tersebut, khususnya peran karakteristik PBM, pendekatan STEAM, serta kontribusi Labirin dalam menciptakan pengalaman belajar yang lebih aktif, interaktif, dan bermakna.

### ***Mengapa Keterampilan Berpikir Kritis Meningkat?***

Murid yang mengikuti pembelajaran melalui integrasi Labirin dalam PBM berbasis STEAM pada penelitian ini memperoleh peningkatan keterampilan berpikir kritis yang lebih tinggi dibandingkan murid pada kelas kontrol. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan keterampilan berpikir kritis tidak hanya dipengaruhi oleh penggunaan model pembelajaran, tetapi juga oleh kualitas pengalaman belajar yang dialami murid selama proses pembelajaran berlangsung. Kebutuhan akan keterampilan semacam ini sejalan dengan kerangka abad ke-21 yang dikemukakan Trilling dan Fadel (2009), yang menempatkan kemampuan berpikir dan pemecahan masalah sebagai salah satu pilar utama pembelajaran masa kini. Integrasi Labirin memberikan pengalaman belajar yang lebih aktif, interaktif, dan bermakna sehingga murid memperoleh kesempatan lebih luas untuk mengembangkan kemampuan menganalisis informasi, mengevaluasi berbagai alternatif penyelesaian masalah, serta menyusun argumentasi berdasarkan bukti yang diperoleh selama pembelajaran.

Peningkatan keterampilan berpikir kritis pada kelas eksperimen terjadi karena murid tidak lagi berperan sebagai penerima informasi, melainkan sebagai individu yang secara aktif membangun pengetahuannya melalui proses penyelidikan. Murid dihadapkan pada berbagai fenomena kontekstual mengenai gelombang yang mendorong mereka mengidentifikasi masalah, mengajukan pertanyaan, mengumpulkan informasi, melakukan praktikum sederhana, mendiskusikan hasil pengamatan, serta menyusun solusi berdasarkan bukti ilmiah. Keenam indikator berpikir kritis Facione (2020), yaitu interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, dan regulasi diri, terlatih melalui rangkaian aktivitas tersebut sehingga proses pembelajaran tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep, tetapi juga pada pengembangan cara berpikir ilmiah.

Teori konstruktivisme menjadi salah satu landasan yang memperkuat temuan penelitian ini karena menyatakan bahwa pengetahuan dibangun secara aktif melalui interaksi antara pengalaman baru dan pengetahuan yang telah dimiliki murid (Piaget, 1972). Vygotsky (1978) menambahkan bahwa proses konstruksi pengetahuan berlangsung melalui interaksi sosial, kolaborasi, dan pemberian dukungan bertahap oleh guru maupun teman sebaya, sebuah gagasan yang relevan dengan temuan Bancong dan Song (2020) bahwa murid mengembangkan pemahaman fisika yang lebih mendalam ketika mereka menyusun eksperimen pemikiran secara kolaboratif dalam kelompok kecil. Murid pada penelitian ini tidak langsung memperoleh jawaban dari guru, melainkan membangun pemahamannya melalui proses eksplorasi, diskusi, pengujian ide, dan refleksi terhadap hasil penyelidikan, sehingga mereka terdorong memberikan alasan terhadap setiap keputusan yang diambil serta mempertanggungjawabkan hasil temuannya kepada anggota kelompok maupun seluruh kelas (Piaget, 1972; Vygotsky, 1978).

Hasil penelitian ini turut konsisten dengan berbagai kajian terdahulu yang melaporkan bahwa pembelajaran berbasis masalah mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis melalui aktivitas penyelidikan, diskusi kolaboratif, dan pemecahan masalah autentik. Murid yang diberi kesempatan terlibat aktif dalam mengidentifikasi masalah, mengumpulkan informasi, dan mengevaluasi alternatif solusi cenderung lebih mudah mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi dibandingkan murid pada pembelajaran yang berpusat pada guru. Keberhasilan pembelajaran, dengan kata lain, tidak hanya ditentukan oleh materi yang dipelajari, tetapi juga oleh pengalaman belajar yang dirancang selama proses pembelajaran itu sendiri.

Pengalaman selama pelaksanaan penelitian turut memperkuat temuan tersebut. Sejumlah murid pada awal pembelajaran masih tampak ragu mengemukakan pendapat dan cenderung menunggu arahan guru ketika mengerjakan lembar kerja peserta didik, sementara diskusi kelompok berlangsung cukup lama karena murid masih berusaha memahami permasalahan dan menentukan langkah penyelidikan. Keterlibatan murid mulai meningkat ketika

memasuki kegiatan praktikum sederhana untuk mengamati fenomena gelombang; mereka tampak antusias melakukan pengamatan, mencatat hasil percobaan, berdiskusi mengenai temuan yang diperoleh, serta berusaha menghubungkan hasil pengamatan dengan konsep yang telah dipelajari. Murid pada saat presentasi mampu menyampaikan hasil diskusi, memberikan tanggapan terhadap presentasi kelompok lain, mengajukan pertanyaan, serta menyampaikan argumentasi berdasarkan data yang diperoleh selama penyelidikan, sebuah pola yang sejalan dengan model umpan balik Hattie dan Timperley (2007) yang menekankan pentingnya proses tanya jawab dalam memperkuat pemahaman murid tentang kemajuan belajarnya sendiri.

Pembelajaran yang memberikan ruang kepada murid untuk mengalami sendiri proses menemukan pengetahuan, berdasarkan pengalaman tersebut, terbukti mampu mendorong berkembangnya keterampilan berpikir kritis secara lebih optimal (Piaget, 1972; Vygotsky, 1978). Peningkatan keterampilan berpikir kritis pada kelas eksperimen bukan semata disebabkan oleh penggunaan PBM berbasis STEAM, melainkan juga oleh integrasi Labirin yang menciptakan pengalaman belajar lebih aktif, kolaboratif, dan reflektif sehingga proses berpikir kritis berkembang secara alami melalui aktivitas mengamati, menyelidiki, berdiskusi, mengevaluasi, dan mengomunikasikan hasil penyelidikan.

### ***Peran Pembelajaran Berbasis Masalah dalam Mengembangkan Keterampilan Berpikir Kritis***

Peningkatan keterampilan berpikir kritis murid pada penelitian ini tidak terlepas dari karakteristik PBM yang menempatkan murid sebagai pusat pembelajaran sehingga mereka membangun pengetahuan melalui proses penyelesaian masalah autentik (Hmelo-Silver, 2004; Savery, 2006). Akar filosofis pandangan tersebut dapat ditelusuri hingga gagasan Dewey (1938) bahwa belajar merupakan proses aktif yang tumbuh dari pengalaman nyata ketika seseorang dihadapkan pada suatu masalah, sebuah prinsip yang kemudian banyak diadopsi dalam pengembangan model-model pembelajaran berbasis masalah kontemporer. PBM, berbeda dengan pembelajaran yang berpusat pada guru, memberikan kesempatan kepada murid untuk membangun pengetahuan melalui proses pemecahan masalah yang autentik, sebab selama proses tersebut murid didorong mengidentifikasi masalah, mencari informasi relevan, mengevaluasi berbagai alternatif solusi, serta menyusun keputusan berdasarkan bukti (Hmelo-Silver, 2004). Kemampuan berpikir kritis melalui proses interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, dan regulasi diri terlatih secara langsung melalui aktivitas tersebut (Facione, 2020).

Tahapan pertama PBM pada penelitian ini diawali dengan penyajian fenomena kontekstual mengenai gelombang melalui tayangan video yang berkaitan dengan kehidupan sehari-hari. Kegiatan ini bertujuan membangun rasa ingin tahu murid sekaligus mendorong mereka mengidentifikasi permasalahan yang akan diselesaikan. Murid mulai menghubungkan pengetahuan awal dengan informasi baru ketika diminta mengemukakan pendapat mengenai fenomena yang diamati, sebuah langkah awal dalam mengembangkan kemampuan interpretasi dan analisis sebagai dua indikator penting keterampilan berpikir kritis.

Murid bekerja dalam kelompok heterogen untuk mendiskusikan strategi penyelesaian masalah pada tahap pengorganisasian belajar. Mereka saling bertukar ide, mempertimbangkan berbagai pendapat, serta menentukan langkah penyelidikan yang akan dilakukan selama diskusi berlangsung. Proses ini tidak hanya melatih kemampuan bekerja sama, tetapi juga mendorong murid mengevaluasi berbagai alternatif solusi sebelum mengambil keputusan, sejalan dengan karakteristik berpikir kritis yang menuntut kemampuan mengevaluasi informasi secara objektif dan memilih solusi yang didukung alasan logis.

Tahap penyelidikan menjadi inti pembelajaran karena murid melakukan pengamatan, praktikum sederhana, mencari informasi dari berbagai sumber, serta menghubungkan hasil penyelidikan dengan konsep gelombang yang dipelajari. Guru berperan sebagai fasilitator yang

memberikan dukungan bertahap ketika murid mengalami kesulitan tanpa langsung memberikan jawaban selama kegiatan berlangsung. Murid, melalui kondisi tersebut, terbiasa menguji informasi, menyusun hipotesis sederhana, dan menarik kesimpulan berdasarkan data yang diperoleh sehingga pemahaman mereka terbangun melalui proses berpikir ilmiah.

Setiap kelompok mempresentasikan hasil diskusi dan penyelidikannya di depan kelas pada tahap penyajian hasil. Kegiatan presentasi menjadi kesempatan bagi murid untuk mempertahankan argumentasi berdasarkan bukti yang dimiliki serta memberikan tanggapan terhadap pendapat kelompok lain, selain berfungsi sebagai sarana menyampaikan hasil belajar. Proses tanya jawab yang berlangsung selama presentasi menunjukkan bahwa murid mulai terbiasa menyampaikan alasan secara logis, mengkritisi pendapat teman, dan menerima masukan sebagai bagian dari penyempurnaan pemahaman, sebuah bentuk nyata pengembangan indikator eksplanasi dan evaluasi dalam keterampilan berpikir kritis.

Tahap terakhir berupa refleksi memberi kesempatan kepada murid untuk mengevaluasi proses pembelajaran yang telah dilakukan. Murid bersama guru mendiskusikan kembali solusi yang diperoleh, menghubungkannya dengan konsep ilmiah, serta merefleksikan pengalaman belajar yang telah dialami pada tahap ini. Refleksi tersebut membantu murid menyadari proses berpikir yang telah dilakukan sehingga mereka tidak hanya memahami hasil akhir, tetapi juga memahami bagaimana suatu keputusan atau kesimpulan diperoleh (Hmelo-Silver, 2004), sebuah proses regulasi diri yang menurut Zimmerman (1990) menjadi penentu penting keberhasilan belajar jangka panjang. Setiap tahapan PBM, dengan demikian, saling melengkapi dalam membentuk proses berpikir yang sistematis dan mendukung berkembangnya keterampilan berpikir kritis.

Temuan penelitian ini sejalan dengan berbagai kajian terdahulu yang melaporkan bahwa PBM efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis melalui penyelesaian masalah autentik, penyelidikan ilmiah, dan diskusi kolaboratif (Anggraeni dkk., 2023). Keberhasilan PBM, meskipun demikian, tidak hanya dipengaruhi oleh penerapan sintaks pembelajaran, tetapi juga oleh cara setiap tahapan pembelajaran dirancang agar mampu melibatkan murid secara aktif dalam membangun pengetahuan. Penerapan PBM yang didukung pengalaman belajar terstruktur, oleh sebab itu, memberikan kontribusi lebih besar terhadap pengembangan keterampilan berpikir kritis murid dibandingkan penerapan sintaks semata.

Hasil penelitian ini sejalan pula dengan temuan Lu dkk. (2025) dan Lestari dkk. (2024) yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis masalah secara konsisten meningkatkan keterampilan berpikir kritis melalui aktivitas penyelidikan dan pemecahan masalah. Peningkatan keterampilan berpikir kritis pada penelitian ini, di sisi lain, tidak hanya dipengaruhi oleh penerapan PBM, tetapi juga oleh pengalaman belajar yang diperkaya melalui integrasi Labirin dalam pembelajaran berbasis STEAM.

### ***Peran STEAM dalam Mengembangkan Keterampilan Berpikir Kritis***

Penerapan pendekatan STEAM yang terintegrasi dalam setiap tahapan pembelajaran turut memengaruhi peningkatan keterampilan berpikir kritis pada penelitian ini, selain didukung oleh karakteristik PBM. Pendekatan STEAM memberikan kesempatan kepada murid memandang suatu permasalahan dari berbagai sudut pandang melalui integrasi sains, teknologi, rekayasa, seni, dan matematika sehingga pembelajaran menjadi lebih kontekstual (Yakman & Lee, 2012; Perignat & Katz-Buonincontro, 2019). Integrasi berbagai disiplin ilmu tersebut menciptakan pengalaman belajar yang lebih kontekstual sehingga murid terdorong berpikir lebih mendalam dalam menyelesaikan permasalahan yang diberikan.

Komponen sains diwujudkan melalui kegiatan mengamati fenomena gelombang, mengidentifikasi karakteristiknya, serta menjelaskan hubungan antara konsep gelombang

dengan berbagai peristiwa dalam kehidupan sehari-hari. Murid tidak sekadar diminta menghafal konsep, tetapi juga menganalisis penyebab terjadinya suatu fenomena dan menghubungkannya dengan teori yang telah dipelajari. Aktivitas tersebut melatih kemampuan interpretasi dan analisis karena murid harus mengaitkan hasil pengamatan dengan teori yang relevan.

Murid memanfaatkan teknologi sebagai sarana memperoleh informasi dan memperkuat hasil penyelidikan pada aspek teknologi. Simulasi PhET Interactive Simulations digunakan untuk membantu murid memvisualisasikan karakteristik gelombang yang sulit diamati secara langsung, sementara aplikasi Decibel X dimanfaatkan untuk mengukur intensitas bunyi pada kegiatan penyelidikan, meskipun akurasi pengukuran suara berbasis telepon pintar tetap perlu diperlakukan sebagai perkiraan dan bukan pengganti penuh alat ukur baku (Murphy & King, 2016). Pemanfaatan teknologi tersebut memberikan kesempatan kepada murid memperoleh data yang lebih akurat, membandingkan hasil pengamatan, serta mengevaluasi kesesuaian antara hasil eksperimen dengan konsep yang dipelajari, sebuah manfaat yang juga dilaporkan Yusuf dan Widyaningsih (2019) pada pembelajaran fisika berbasis simulasi PhET untuk memperkuat kemampuan berpikir tingkat tinggi. Teknologi, dengan kata lain, tidak hanya berfungsi sebagai media pembelajaran, tetapi juga sebagai alat yang mendukung proses berpikir ilmiah, sejalan pula dengan temuan Suhirman dan Prayogi (2023) bahwa pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran berbasis masalah dapat meningkatkan kualitas penyelidikan dan kemampuan berpikir kritis murid. Perkins (2020) turut menegaskan bahwa simulasi interaktif semacam ini efektif memperluas akses murid terhadap fenomena sains yang sulit dihadirkan secara nyata di ruang kelas.

Komponen rekayasa diwujudkan melalui kegiatan merancang solusi terhadap permasalahan yang diberikan, salah satunya berupa penyusunan rancangan sederhana mengenai upaya meredam kebisingan berdasarkan konsep gelombang bunyi. Murid diminta mengidentifikasi masalah, menentukan alternatif solusi, mempertimbangkan kelebihan dan keterbatasan setiap solusi, kemudian memilih rancangan yang dianggap paling sesuai berdasarkan konsep ilmiah dalam proses tersebut. Aktivitas ini mendorong murid berpikir sistematis serta mempertimbangkan berbagai alternatif sebelum mengambil keputusan, yang merupakan bagian penting keterampilan berpikir kritis.

Murid diberi kebebasan menyajikan hasil penyelidikan secara kreatif melalui peta pikiran, gambar rancangan, maupun media visual lainnya pada komponen seni. Kebebasan dalam menyajikan hasil pembelajaran ini memberi ruang bagi murid untuk mengorganisasi ide, menyusun argumentasi, serta mengomunikasikan hasil penyelidikan secara lebih menarik dan mudah dipahami. Unsur seni pada penelitian ini berperan membantu murid mengembangkan kemampuan mengomunikasikan hasil berpikir secara sistematis dan logis, meskipun aspek ini kerap dianggap sekadar pelengkap dalam pembelajaran STEAM.

Komponen matematika diterapkan ketika murid melakukan perhitungan besaran-besaran gelombang, menganalisis data hasil pengamatan, serta menghubungkan hubungan matematis antarvariabel. Proses tersebut melatih murid menggunakan data sebagai dasar dalam menarik kesimpulan sehingga keputusan yang diambil tidak hanya didasarkan pada dugaan, tetapi juga pada hasil analisis yang dapat dipertanggungjawabkan. Kemampuan menggunakan bukti kuantitatif dalam menyusun argumentasi merupakan salah satu karakteristik utama keterampilan berpikir kritis.

Kekuatan pendekatan STEAM, berdasarkan hasil penelitian ini, tidak terletak pada masing-masing komponennya secara terpisah, melainkan pada integrasi kelima komponen tersebut dalam satu pengalaman belajar yang utuh. Murid tidak hanya mempelajari konsep gelombang dari sisi sains, tetapi juga memanfaatkan teknologi, melakukan proses rekayasa, mengembangkan kreativitas, dan menggunakan penalaran matematis untuk menyelesaikan

permasalahan yang diberikan. Pengalaman belajar yang bersifat multidisiplin ini sejalan dengan hasil kajian Perignat dan Katz-Buonincontro (2019) yang menunjukkan bahwa integrasi STEAM mampu meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi melalui pembelajaran kontekstual dan kolaboratif.

Temuan penelitian ini sejalan dengan berbagai kajian terdahulu yang melaporkan bahwa pendekatan STEAM mampu meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi karena memberi kesempatan kepada murid mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu dalam menyelesaikan masalah nyata. Integrasi STEAM pada penelitian ini, berbeda dari kajian-kajian tersebut, tidak berdiri sendiri, melainkan dipadukan dengan sintaks PBM dan diperkaya melalui pengalaman belajar yang dirancang menggunakan Labirin. Setiap komponen STEAM, dengan demikian, tidak hanya mendukung penguasaan konsep, tetapi juga berkontribusi terhadap berkembangnya kemampuan murid dalam menganalisis informasi, mengevaluasi alternatif solusi, serta menyusun argumentasi berdasarkan bukti ilmiah.

### ***Kontribusi Integrasi Labirin terhadap Pengembangan Keterampilan Berpikir Kritis (Kebaruan Penelitian)***

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada integrasi Labirin yang memperkaya implementasi PBM berbasis STEAM dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis murid. Berbagai penelitian sebelumnya telah melaporkan efektivitas PBM dan STEAM dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis (Hmelo-Silver, 2004; Perignat & Katz-Buonincontro, 2019; Lu dkk., 2025), tetapi sebagian besar kajian tersebut masih berfokus pada efektivitas model dan pendekatan yang digunakan, sementara desain pengalaman belajar yang mendukung keterlibatan murid selama proses pembelajaran belum banyak menjadi perhatian. Penelitian ini menunjukkan bahwa keberhasilan pembelajaran tidak hanya ditentukan oleh model atau pendekatan yang digunakan, tetapi juga oleh kualitas pengalaman belajar yang dialami murid pada setiap tahapan pembelajaran.

Labirin, dalam penelitian ini, tidak menggantikan sintaks PBM maupun prinsip-prinsip STEAM, melainkan berperan sebagai penguat yang memperkaya pengalaman belajar murid pada setiap tahap pembelajaran. Integrasi Labirin diwujudkan melalui tiga dimensi utama, yaitu SERU, INTERAKTIF, dan UNIK, yang dirancang agar murid memperoleh pengalaman belajar lebih aktif, kolaboratif, dan bermakna. Ketiga dimensi tersebut saling melengkapi dalam menciptakan lingkungan belajar yang mampu meningkatkan keterlibatan murid selama proses pembelajaran berlangsung.

Dimensi SERU diwujudkan melalui penyajian fenomena kontekstual, permainan edukatif, eksperimen sederhana, serta berbagai aktivitas yang mampu membangkitkan rasa ingin tahu murid. Suasana belajar yang menyenangkan membuat murid lebih berani mengemukakan pendapat, mengajukan pertanyaan, dan mengeksplorasi berbagai kemungkinan penyelesaian masalah. Kondisi tersebut memberi ruang bagi berkembangnya kemampuan berpikir kritis karena murid terdorong menganalisis informasi, mengevaluasi argumen, serta menarik kesimpulan berdasarkan bukti, sebagaimana indikator utama berpikir kritis menurut Facione (2020). Efek suasana belajar yang menyenangkan terhadap keterlibatan murid ini pun sejalan dengan hasil meta-analisis Huang dkk. (2020) dan Li dkk. (2023) tentang pemanfaatan unsur permainan edukatif dalam pembelajaran, yang melaporkan bahwa aktivitas belajar yang dirancang menyenangkan secara konsisten memberikan pengaruh positif terhadap capaian belajar murid.

Dimensi INTERAKTIF tampak melalui aktivitas diskusi kelompok, presentasi hasil penyelidikan, tanya jawab antarkelompok, serta pemberian dukungan bertahap oleh guru selama proses pembelajaran. Interaksi yang intensif tersebut mendorong murid menyampaikan argumentasi berdasarkan bukti, menghargai pendapat orang lain, serta merevisi pemahamannya

ketika memperoleh informasi baru. Berpikir kritis, melalui proses tersebut, terlihat berkembang tidak hanya melalui aktivitas individu, tetapi juga melalui interaksi sosial yang memungkinkan murid membangun pengetahuan secara kolaboratif (Facione, 2020).

Dimensi UNIK memberikan kesempatan kepada setiap kelompok untuk mengeksplorasi ide, merancang solusi, dan menyajikan hasil penyelidikan sesuai kreativitas masing-masing. Murid tidak diarahkan pada satu jawaban yang sama, melainkan diberi ruang menghasilkan berbagai alternatif penyelesaian masalah selama tetap didukung konsep ilmiah yang benar. Kebebasan tersebut mendorong murid berpikir lebih fleksibel, mengevaluasi berbagai kemungkinan solusi, serta mempertanggungjawabkan keputusan yang diambil berdasarkan bukti yang diperoleh selama penyelidikan.

Kontribusi utama penelitian ini, berdasarkan temuan tersebut, bukan hanya menunjukkan bahwa integrasi Labirin mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis murid, tetapi juga memperlihatkan bahwa desain pengalaman belajar merupakan faktor penting yang mendukung keberhasilan implementasi PBM berbasis STEAM. Penelitian ini memberikan perspektif baru bahwa inovasi pembelajaran tidak selalu harus berupa model pembelajaran baru, tetapi dapat diwujudkan melalui pengembangan pengalaman belajar yang memperkaya implementasi model pembelajaran yang telah ada. Temuan ini menjadi nilai kebaruan penelitian sekaligus memberikan alternatif bagi guru dalam merancang pembelajaran IPA yang lebih aktif, interaktif, dan bermakna

## Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi Labirin dalam PBM berbasis STEAM memberikan peningkatan keterampilan berpikir kritis murid yang lebih tinggi dibandingkan PBM tanpa integrasi Labirin, dengan rerata N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,671 berbanding 0,400 pada kelas kontrol dan nilai signifikansi uji-t sampel independen sebesar 0,000 ( $p < 0,05$ ). Pengalaman belajar yang dirancang melalui aktivitas pemecahan masalah, penyelidikan, diskusi kolaboratif, praktikum, dan presentasi memberikan kesempatan kepada murid untuk mengembangkan kemampuan menganalisis informasi, mengevaluasi berbagai alternatif solusi, menyusun argumentasi berdasarkan bukti, serta menarik kesimpulan secara logis. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penegasan bahwa keberhasilan pembelajaran tidak semata ditentukan oleh model pembelajaran dan pendekatan yang digunakan, melainkan juga oleh cara pengalaman belajar dirancang untuk meningkatkan keterlibatan murid. Dengan demikian, integrasi Labirin dapat menjadi salah satu alternatif inovasi pembelajaran IPA yang mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis murid sekolah menengah pertama.

Hasil penelitian ini juga memberikan implikasi teoretis maupun praktis terhadap pengembangan pembelajaran IPA di sekolah menengah pertama. Secara teoretis, penelitian ini memperkuat pandangan konstruktivisme bahwa keterampilan berpikir kritis berkembang secara optimal ketika murid memperoleh kesempatan membangun pengetahuan melalui pengalaman belajar yang aktif, kolaboratif, dan kontekstual (Vygotsky, 1978). Kajian mengenai implementasi PBM berbasis STEAM turut diperluas melalui penelitian ini dengan menunjukkan bahwa kualitas pengalaman belajar merupakan salah satu faktor penting yang mendukung keberhasilan penerapan kedua pendekatan tersebut dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis. Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan alternatif bagi guru IPA dalam merancang pembelajaran yang tidak hanya berorientasi pada penyampaian materi, tetapi juga pada pengembangan pengalaman belajar murid. Integrasi Labirin dapat diterapkan tanpa mengubah sintaks PBM, sehingga guru tetap dapat menggunakan model pembelajaran yang telah dikenal sambil memperkaya setiap tahap pembelajaran melalui aktivitas yang lebih menarik, kolaboratif,

dan memberi ruang bagi murid untuk mengeksplorasi ide serta mengomunikasikan hasil pemikirannya.

Penerapan integrasi Labirin berpotensi dikembangkan pada materi IPA lainnya maupun pada mata pelajaran yang menggunakan pendekatan pembelajaran berbasis masalah. Fleksibilitas tersebut menunjukkan bahwa Labirin memiliki peluang untuk diadaptasi pada berbagai konteks pembelajaran selama tetap mempertahankan karakteristik pembelajaran yang aktif, interaktif, dan bermakna. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam menafsirkan hasilnya. Subjek penelitian hanya melibatkan 52 murid dari dua kelas VIII pada satu sekolah menengah pertama swasta di Kota Bandung sehingga generalisasi temuan pada populasi yang lebih luas maupun konteks sekolah yang berbeda perlu dilakukan secara hati-hati. Selain itu, pengukuran keterampilan berpikir kritis yang hanya dilakukan pada satu rentang waktu pembelajaran materi gelombang belum mampu menggambarkan efek jangka panjang integrasi Labirin terhadap perkembangan berpikir kritis murid. Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian selanjutnya disarankan menguji penerapan integrasi Labirin pada materi IPA yang berbeda, jenjang pendidikan lain, serta jumlah subjek yang lebih besar dan beragam, termasuk mengeksplorasi variabel lain seperti kreativitas, kemampuan pemecahan masalah, literasi sains, dan kolaborasi agar kontribusi inovasi pembelajaran ini dapat dikaji secara lebih komprehensif dan hasilnya dapat digeneralisasi secara lebih meyakinkan.

## Referensi

- Anggraeni, D. M., Prahani, B. K., Suprpto, N., Shofiyah, N., & Jatmiko, B. (2023). Systematic review of problem-based learning research in fostering critical thinking skills. *Thinking Skills and Creativity*, 49, 101334. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101334>
- Bancong, H., & Song, J. (2020). Exploring how students construct collaborative thought experiments during physics problem-solving activities. *Science & Education*, 29(3), 617–645. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00129-3>
- Dewey, J. (1938). *Experience and education*. Kappa Delta Pi.
- Ennis, R. H. (2015). Critical thinking: A streamlined conception. In M. Davies & R. Barnett (Eds.), *The Palgrave handbook of critical thinking in higher education* (pp. 31–47). Palgrave Macmillan. [https://doi.org/10.1057/9781137378057\\_2](https://doi.org/10.1057/9781137378057_2)
- Facione, P. A. (2020). Critical thinking: What it is and why it counts. *Insight Assessment*.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81–112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266. <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
- Huang, R., Ritzhaupt, A. D., Sommer, M., Zhu, J., Stephen, A., Valle, N., Hampton, J., & Li, J. (2020). The impact of gamification in educational settings on student learning outcomes: A meta-analysis. *Educational Technology Research and Development*, 68(4), 1875–1901. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09807-z>
- Lestari, P. D., Baiduri, B., & Ummah, S. K. (2024). Problem-based learning with iSpring-assisted inquiry method on critical thinking skills. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 18(1), 148–153. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v18i1.21089>

- Li, M., Ma, S., & Shi, Y. (2023). Examining the effectiveness of gamification as a tool promoting teaching and learning in educational settings: A meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 14, 1253549. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1253549>
- Liu, Y., & Pásztor, A. (2022). Effects of problem-based learning instructional intervention on critical thinking in higher education: A meta-analysis. *Thinking Skills and Creativity*, 45, 101069. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101069>
- Lu, L., Mustakim, S. S., & Muhamad, M. M. (2025). A meta-analysis of the effectiveness of problem-based learning on critical thinking. *European Journal of Educational Research*, 14(3), 789–804. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.14.3.789>
- Meltzer, D. E. (2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible “hidden variable” in diagnostic pretest scores. *American Journal of Physics*, 70(12), 1259–1268. <https://doi.org/10.1119/1.1514215>
- Murphy, E., & King, E. A. (2016). Testing the accuracy of smartphones and sound level meter applications for measuring environmental noise. *Applied Acoustics*, 106, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.12.012>
- OECD. (2023). PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
- Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>
- Perkins, K. (2020). Transforming STEM learning at scale: PhET interactive simulations. *Childhood Education*, 96(4), 42–49. <https://doi.org/10.1080/00094056.2020.1796451>
- Piaget, J. (1972). *The psychology of the child*. Basic Books.
- Savery, J. R. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1), 9–20. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1002>
- Suhirman, S., & Prayogi, S. (2023). Problem-based learning utilizing assistive virtual simulation in mobile application to improve students' critical thinking skills. *International Journal of Education and Practice*, 11(3), 351–364. <https://doi.org/10.18488/61.v11i3.3380>
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st century skills: Learning for life in our times*. Jossey-Bass.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Yakman, G., & Lee, H. (2012). Exploring the exemplary STEAM education in the U.S. as a practical educational framework. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(6), 1072–1086. <https://doi.org/10.14697/jkase.2012.32.6.1072>
- Yusuf, I., & Widyaningsih, S. W. (2019). HOTS profile of physical education students in STEM-based classes using PhET media. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157(3), 032021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/3/032021>
- Zimmerman, B. J. (1990). Self-regulated learning and academic achievement: An overview. *Educational Psychologist*, 25(1), 3–17. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep2501\\_2](https://doi.org/10.1207/s15326985ep2501_2)