

**PENGARUH MODEL *PROJECT BASED LEARNING* (PJBL)
BERBASIS STEM PADA MATERI POKOK EKOSISTEM TERHADAP
KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS SISWA**

Citra Partika Dwi¹, Kartika Manalu²
Universitas Islam Negeri Sumatera Utara^{1,2}
citra0310222061@uinsu.ac.id¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh model *Project Based Learning* (PjBL) berbasis *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) terhadap keterampilan berpikir kritis siswa pada materi pokok ekosistem di kelas X SMA Al-Ma'shum Kisaran Barat. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *quasi experiment* melalui desain *Pretest-Posttest Control Group Design*. Populasi penelitian berjumlah 105 siswa kelas X, dengan sampel yang dipilih menggunakan teknik *cluster random sampling* sehingga diperoleh satu kelas eksperimen dan satu kelas kontrol. Instrumen penelitian berupa tes keterampilan berpikir kritis berbentuk uraian yang disusun berdasarkan indikator berpikir kritis Facione, meliputi interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, dan *self-regulation*. Data dianalisis menggunakan uji normalitas, uji homogenitas, dan *Independent Sample t-Test* dengan bantuan IBM SPSS Statistics for Windows Versi 29.0. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata nilai *pretest* kelas eksperimen sebesar 31,25 meningkat menjadi 86,46 pada *posttest*, sedangkan kelas kontrol meningkat dari 30,00 menjadi 75,38. Hasil uji normalitas menunjukkan data berdistribusi normal (Sig. = 0,200 > 0,05), sedangkan uji homogenitas menunjukkan varians data homogen (Sig. = 0,328 > 0,05). Hasil *Independent Sample t-Test* memperoleh nilai signifikansi sebesar 0,000 (< 0,05), yang menunjukkan adanya pengaruh signifikan penerapan model PjBL berbasis STEM terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Dengan demikian, pembelajaran berbasis proyek yang terintegrasi dengan STEM mampu mendorong siswa terlibat aktif dalam pemecahan masalah, investigasi ilmiah, analisis data, dan pengambilan keputusan sehingga keterampilan berpikir kritis berkembang lebih optimal dibandingkan pembelajaran konvensional.

Kata Kunci: Ekosistem, Keterampilan Berpikir Kritis, Pembelajaran Biologi, *Project Based Learning*, STEM

ABSTRACT

This study aimed to analyze the effect of the Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM)-based Project Based Learning (PjBL) model on students' critical thinking skills in ecosystem learning among tenth-grade students at SMA Al-Ma'shum Kisaran Barat. This study employed a quantitative approach using a

quasi-experimental method with a Pretest-Posttest Control Group Design. The population consisted of 105 tenth-grade students, and the samples were selected through cluster random sampling, resulting in one experimental class and one control class. The research instrument was an essay-based critical thinking test developed according to Facione's critical thinking indicators, including interpretation, analysis, evaluation, inference, explanation, and self-regulation. Data were analyzed using normality tests, homogeneity tests, and an Independent Sample t-Test with IBM SPSS Statistics for Windows Version 29.0. The results showed that the mean pretest score of the experimental class increased from 31.25 to 86.46 in the posttest, while the control class increased from 30.00 to 75.38. The normality test indicated that the data were normally distributed ($\text{Sig.} = 0.200 > 0.05$), while the homogeneity test showed homogeneous variances ($\text{Sig.} = 0.328 > 0.05$). Furthermore, the Independent Sample t-Test obtained a significance value of 0.000 (< 0.05), indicating a significant effect of the STEM-based PjBL model on students' critical thinking skills. Therefore, project-based learning integrated with STEM encouraged students to actively engage in problem-solving, scientific investigation, data analysis, and decision-making processes, thereby developing their critical thinking skills more optimally than conventional learning.

Keywords: *Biology Learning, Critical Thinking Skills, Ecosystem, Project Based Learning, STEM*

PENDAHULUAN

Pendidikan pada abad ke-21 menghadapi tantangan yang semakin kompleks seiring dengan pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi, serta meningkatnya dinamika permasalahan global, khususnya yang berkaitan dengan isu lingkungan dan keberlanjutan (OECD, 2021). Tantangan tersebut menuntut sistem pendidikan untuk tidak hanya berfokus pada penguasaan pengetahuan faktual, tetapi juga pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi, terutama keterampilan berpikir kritis. Berpikir kritis menjadi kompetensi esensial karena memungkinkan peserta didik untuk menganalisis informasi secara mendalam, mengevaluasi berbagai sudut pandang, serta mengambil keputusan yang rasional dan berbasis bukti ilmiah (Facione, 2015). Berbagai lembaga pendidikan internasional menegaskan bahwa kemampuan berpikir kritis merupakan bekal utama bagi generasi muda dalam menghadapi persoalan multidimensional seperti perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan krisis ekosistem yang semakin mengkhawatirkan (UNESCO, 2021).

Pembelajaran sains, khususnya Biologi, memiliki peran strategis dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis karena tidak hanya menekankan penguasaan konsep dan teori, tetapi juga menuntut proses penalaran ilmiah, pemecahan masalah, serta kemampuan mengaitkan konsep dengan fenomena nyata yang terjadi di lingkungan sekitar (Thibaut et al., 2018). Materi ekosistem menjadi

salah satu kajian Biologi yang sangat relevan dengan berbagai isu lingkungan global. Materi ini membahas keterkaitan antara makhluk hidup dan lingkungannya, aliran energi, siklus materi, serta dampak aktivitas manusia terhadap keseimbangan alam (Sari et al., 2022). Pembelajaran ekosistem perlu diarahkan tidak hanya pada penguasaan konsep, tetapi juga pada pengembangan kemampuan siswa dalam memahami, menganalisis, dan menyikapi berbagai persoalan lingkungan secara kritis dan kontekstual (Rahmawati & Sudarisman, 2023).

Pendekatan pembelajaran yang mengintegrasikan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) semakin dipandang relevan dalam pendidikan sains modern. Pendekatan STEM menekankan pembelajaran lintas disiplin yang menghubungkan konsep ilmiah dengan pemanfaatan teknologi, rekayasa, serta pemecahan masalah berbasis data dan konteks nyata (English & King, 2019; Li et al., 2020). Pengintegrasian STEM dalam pembelajaran mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih bermakna sehingga mendorong berkembangnya keterampilan berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan solutif (Thibaut et al., 2018). Implementasi pendekatan STEM memerlukan model pembelajaran yang mampu memfasilitasi keterlibatan aktif peserta didik dalam setiap tahapan pembelajaran.

Pendekatan STEM merupakan integrasi empat disiplin ilmu utama, yaitu sains, teknologi, rekayasa, dan matematika yang dirancang untuk membantu peserta didik memahami konsep secara terpadu serta mengaplikasikannya dalam penyelesaian masalah nyata. Tujuan utama pendekatan ini adalah mengembangkan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan keterampilan pemecahan masalah yang menjadi kompetensi penting dalam menghadapi tantangan global dan perkembangan teknologi modern (Li et al., 2020).

Komponen *science* berfungsi sebagai landasan dalam memahami fenomena alam melalui observasi, eksperimen, dan analisis data. Dalam pembelajaran Biologi, sains membantu peserta didik memahami interaksi antara makhluk hidup dengan lingkungannya, aliran energi, serta siklus materi yang berlangsung dalam suatu ekosistem. Pembelajaran sains tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep, tetapi juga pada pengembangan keterampilan proses sains seperti mengamati, mengklasifikasi, menginterpretasi data, dan menarik kesimpulan ilmiah (Kelley & Knowles, 2016).

Komponen *technology* merujuk pada penggunaan berbagai perangkat, alat digital, maupun sistem teknologi yang membantu peserta didik memperoleh, mengolah, dan menyajikan informasi. Pemanfaatan teknologi memungkinkan siswa melakukan simulasi, mengolah data eksperimen, serta mengakses berbagai sumber belajar digital yang mendukung pemahaman konsep secara lebih mendalam. Penggunaan teknologi juga berkontribusi terhadap peningkatan literasi digital yang menjadi salah satu kompetensi penting dalam pendidikan abad ke-21 (Chai et al., 2020).

Komponen *engineering* berfokus pada proses perancangan solusi terhadap suatu permasalahan melalui kegiatan desain, pembuatan prototipe, pengujian, dan evaluasi produk. Proses ini dikenal sebagai *engineering design process* yang melibatkan identifikasi masalah, perancangan solusi, pembuatan model, pengujian, dan penyempurnaan desain. Kegiatan tersebut melatih siswa untuk berpikir kreatif, sistematis, dan analitis dalam menyelesaikan berbagai permasalahan yang dihadapi (Moore & Smith, 2020).

Komponen *mathematics* berfungsi sebagai alat analisis untuk mengukur, menghitung, memodelkan, dan menganalisis hubungan antarvariabel dalam suatu fenomena ilmiah. Matematika membantu siswa mengolah data hasil pengamatan, menyusun grafik, membangun model matematis, dan menarik kesimpulan berdasarkan bukti empiris. Peran tersebut menjadikan matematika sebagai bagian penting dalam proses pemecahan masalah secara ilmiah dan sistematis (Li et al., 2020).

Model pembelajaran yang dinilai selaras dengan pendekatan STEM adalah *Project Based Learning* (PjBL). Model ini menempatkan siswa sebagai subjek aktif dalam proses pembelajaran melalui kegiatan proyek yang berorientasi pada permasalahan nyata dan kontekstual (Kokotsaki et al., 2016; Putri et al., 2020). PjBL menuntut siswa merumuskan masalah, merancang langkah penyelesaian, mengumpulkan dan menganalisis data, serta menyajikan hasil temuannya secara sistematis. Proses tersebut secara langsung melatih keterampilan berpikir kritis karena siswa melakukan analisis, evaluasi, dan sintesis informasi secara berkelanjutan (Afriana et al., 2016; Bell, 2010). Integrasi PjBL dan STEM menghasilkan pembelajaran yang tidak hanya berorientasi pada produk akhir, tetapi juga pada proses berpikir ilmiah dan pemecahan masalah yang terintegrasi (Capraro et al., 2013; Nurazizah et al., 2022).

Realitas pembelajaran Biologi di tingkat sekolah menengah atas masih menunjukkan berbagai permasalahan. Pembelajaran cenderung didominasi metode ceramah dan penugasan rutin sehingga siswa lebih banyak berperan sebagai penerima informasi pasif (Sanjaya, 2016). Aktivitas pembelajaran yang mendorong investigasi, analisis permasalahan lingkungan, maupun penerapan konsep ekosistem dalam konteks nyata masih relatif terbatas. Kondisi tersebut berdampak pada belum berkembangnya keterampilan berpikir kritis siswa secara optimal, terutama pada materi ekosistem yang sangat dekat dengan kehidupan sehari-hari (Fitriani et al., 2023; Susanti & Hasanah, 2020).

Hasil observasi awal yang dilakukan di SMA Al-Ma'shum Kisaran Barat melalui wawancara dengan guru Biologi, Ibu Dewi Astuti, S.P., pada tanggal 12 Januari 2026 menunjukkan bahwa pembelajaran Biologi pada materi ekosistem masih berorientasi pada penyampaian konsep secara teoritis. Siswa belum terbiasa terlibat dalam kegiatan pembelajaran yang menuntut analisis mendalam, diskusi kritis, maupun pemecahan masalah lingkungan secara kontekstual. Sebagian besar siswa hanya mengikuti penjelasan guru dan mengerjakan soal yang lebih

menekankan aspek ingatan terhadap konsep daripada kemampuan berpikir kritis. Kesulitan juga terlihat ketika siswa diberikan pertanyaan yang menuntut analisis hubungan sebab-akibat dalam suatu ekosistem maupun perumusan solusi terhadap permasalahan lingkungan. Banyak siswa belum mampu menyampaikan argumen yang logis dan berbasis konsep ilmiah (Olahan Peneliti, 2026).

Alasan pemilihan lokasi penelitian di SMA Al-Ma'shum Kisaran Barat yaitu: (1) sekolah ini merupakan salah satu lembaga pendidikan menengah yang telah menerapkan Kurikulum Merdeka sehingga memberikan ruang bagi guru untuk mengimplementasikan model pembelajaran inovatif, termasuk *Project Based Learning* (PjBL) berbasis STEM pada pembelajaran Biologi; (2) berdasarkan hasil observasi awal dan diskusi dengan guru mata pelajaran Biologi, proses pembelajaran pada materi ekosistem masih didominasi oleh metode pembelajaran konvensional yang berpusat pada guru sehingga keterlibatan aktif siswa masih terbatas; (3) SMA Al-Ma'shum Kisaran Barat memiliki karakteristik siswa yang heterogen serta fasilitas pembelajaran yang cukup memadai, seperti laboratorium IPA, lingkungan sekolah yang mendukung kegiatan proyek berbasis ekosistem, serta dukungan pihak sekolah terhadap kegiatan penelitian pendidikan; dan (4) materi ekosistem sangat sesuai diterapkan melalui model PjBL berbasis STEM karena berkaitan langsung dengan fenomena lingkungan yang dapat diamati secara nyata oleh siswa.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan model pembelajaran berbasis proyek dan integrasi STEM memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran sains. Novitasari et al. (2024) menemukan bahwa penerapan STEM berbasis *Project Based Learning* berpengaruh positif terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa. Keterampilan berpikir kritis siswa pada kelas eksperimen mengalami peningkatan signifikan setelah mengikuti pembelajaran berbasis proyek yang terintegrasi STEM karena siswa didorong untuk mengidentifikasi masalah, melakukan investigasi, merancang solusi, dan mengevaluasi hasil proyek.

Penelitian meta-analisis yang dilakukan oleh Ramadhani et al. (2024) menunjukkan bahwa model *Project Based Learning* memiliki pengaruh positif terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran sains. Hasil analisis berbagai penelitian memperlihatkan bahwa PjBL memiliki ukuran efek yang tinggi dalam meningkatkan kemampuan analisis, interpretasi, dan pemecahan masalah siswa.

Khafah et al. (2023) juga menemukan bahwa model *Project Based Learning* berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kreatif siswa pada materi ekosistem. Temuan tersebut memperkuat argumentasi bahwa pembelajaran berbasis proyek efektif dalam mendorong berkembangnya keterampilan berpikir tingkat tinggi.

Penelitian Wandari et al. (2024) menunjukkan bahwa penerapan *Project Based Learning* berbasis STEM secara signifikan meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa dibandingkan pembelajaran konvensional. Kegiatan pembelajaran berbasis proyek yang terintegrasi STEM mendorong siswa melakukan analisis, evaluasi, dan pemecahan masalah secara lebih mendalam dalam pembelajaran Biologi.

Penelitian Margot dan Kettler (2019) yang mengkaji persepsi guru terhadap implementasi pendidikan STEM menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis STEM mampu meningkatkan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran sekaligus mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Integrasi berbagai disiplin ilmu dalam STEM menjadikan pembelajaran lebih kontekstual dan relevan dengan kehidupan nyata.

Berbagai penelitian tersebut menunjukkan hasil positif, tetapi sebagian besar masih berfokus pada penerapan PjBL atau STEM secara umum maupun pada mata pelajaran selain Biologi, seperti fisika dan matematika. Penelitian yang secara spesifik mengkaji pengaruh *Project Based Learning* berbasis STEM terhadap keterampilan berpikir kritis siswa pada materi ekosistem, khususnya pada konteks sekolah swasta dengan karakteristik lokal tertentu, masih relatif terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan adanya ruang pengembangan kajian yang perlu diisi melalui penelitian lebih lanjut.

Kajian terhadap penelitian terdahulu juga menunjukkan adanya kesenjangan penelitian (*research gap*) terkait penerapan PjBL berbasis STEM dalam pembelajaran Biologi. Penelitian yang menghubungkan penerapan PjBL berbasis STEM dengan indikator keterampilan berpikir kritis secara komprehensif sesuai karakteristik materi ekosistem masih terbatas. Banyak penelitian menilai keterampilan berpikir kritis secara umum tanpa mengaitkannya dengan konteks materi maupun lingkungan belajar siswa (Facione, 2015). Oleh karena itu, penelitian empiris yang secara khusus mengkaji pengaruh model PjBL berbasis STEM terhadap keterampilan berpikir kritis siswa pada materi ekosistem masih diperlukan.

Permasalahan tersebut menunjukkan perlunya inovasi pembelajaran yang mampu mengintegrasikan materi ekosistem dengan pengalaman belajar yang autentik dan bermakna sekaligus mendorong pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa. *Project Based Learning* berbasis STEM dipandang sebagai alternatif yang relevan untuk menjawab kebutuhan tersebut. Melalui PjBL berbasis STEM, siswa dapat dilibatkan dalam proyek yang berkaitan langsung dengan permasalahan ekosistem di lingkungan sekitar, seperti analisis kualitas lingkungan, dampak aktivitas manusia terhadap ekosistem lokal, maupun perancangan solusi sederhana untuk menjaga keseimbangan ekosistem (Putri et al., 2020). Kegiatan observasi, analisis data, diskusi kelompok, dan refleksi pembelajaran yang dilakukan selama proyek berlangsung memberikan kesempatan bagi siswa untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis secara optimal.

Secara teoritis, PjBL berbasis STEM memiliki potensi besar dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis karena pembelajaran dirancang berdasarkan permasalahan nyata dan menuntut keterlibatan aktif siswa pada setiap tahap pembelajaran (Kelley & Knowles, 2016). Siswa tidak hanya memahami konsep ekosistem secara abstrak, tetapi juga mampu mengaitkannya dengan fenomena lingkungan yang dihadapi dalam kehidupan sehari-hari sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna dan berorientasi pada pengembangan kompetensi abad ke-21.

Penelitian mengenai pengaruh model *Project Based Learning* berbasis STEM pada materi ekosistem terhadap keterampilan berpikir kritis siswa kelas X SMA Al-Ma'shum Kisaran Barat menjadi penting dan relevan untuk dilakukan. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan model PjBL berbasis STEM secara khusus pada materi ekosistem dengan mengukur keterampilan berpikir kritis berdasarkan indikator yang komprehensif, yaitu interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, dan *self-regulation*. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh penerapan model *Project Based Learning* berbasis STEM terhadap keterampilan berpikir kritis siswa serta memberikan gambaran mengenai kemampuan berpikir kritis siswa sebelum dan sesudah penerapan model tersebut. Penelitian ini juga bertujuan menganalisis perbedaan keterampilan berpikir kritis antara siswa yang belajar menggunakan model PjBL berbasis STEM dan siswa yang belajar menggunakan pembelajaran konvensional.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen semu (*quasi experiment*) untuk mengetahui pengaruh model *Project Based Learning* (PjBL) berbasis STEM terhadap keterampilan berpikir kritis siswa (Sugiyono, 2013). Desain penelitian yang digunakan adalah *Pretest-Posttest Control Group Design*, yaitu desain eksperimen yang melibatkan dua kelompok, yakni kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Kedua kelompok diberikan tes awal (*pretest*) dan tes akhir (*posttest*). Kelompok eksperimen diberikan perlakuan berupa pembelajaran menggunakan model PjBL berbasis STEM pada materi pokok ekosistem, sedangkan kelompok kontrol diberikan pembelajaran menggunakan model pembelajaran konvensional. Desain ini dipilih karena mampu mengukur perubahan kemampuan berpikir kritis siswa sebelum dan sesudah perlakuan secara lebih akurat (Creswell, 2015).

Penelitian dilaksanakan di SMA Al-Ma'shum Kisaran Barat dengan populasi seluruh siswa kelas X yang berjumlah 105 siswa. Kelas X terdiri atas tiga kelas, dengan setiap kelas berjumlah sekitar 35 siswa. Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *cluster random sampling*, yaitu pemilihan sampel berdasarkan kelompok atau kelas yang telah terbentuk, kemudian dipilih secara acak untuk menentukan kelas eksperimen dan kelas kontrol. Teknik ini dipilih karena populasi penelitian telah terorganisasi dalam kelas-kelas yang relatif

homogen sehingga memungkinkan pengambilan sampel secara acak berbasis kelompok (Fraenkel & Wallen, 2009).

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah model pembelajaran PjBL berbasis STEM, sedangkan variabel terikat adalah keterampilan berpikir kritis siswa pada materi pokok ekosistem. Instrumen penelitian berupa tes keterampilan berpikir kritis dalam bentuk soal uraian berjumlah 10 soal yang disusun berdasarkan indikator berpikir kritis. Indikator tersebut meliputi interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, dan *self-regulation* berdasarkan kerangka berpikir kritis Facione (2015). Sebelum digunakan, instrumen diuji validitas dan reliabilitasnya untuk menjamin ketepatan dan konsistensi pengukuran (Arikunto, 2010).

Data penelitian disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kisi-Kisi Instrumen Berpikir Kritis

Indikator Berpikir Kritis (Facione)	Tujuan Pembelajaran	Indikator Capaian	Pertanyaan Soal
Interpretasi (Menafsirkan data)	Peserta didik mampu menafsirkan fenomena perubahan lingkungan dalam ekosistem tertutup.	Siswa mampu menjelaskan makna munculnya embun berdasarkan konsep siklus air.	Soal 1: Jelaskan makna munculnya embun pada hari ke-3 dalam konteks siklus air pada ekosistem mini tersebut.
Analisis (Mengidentifikasi hubungan sebab-akibat)	Peserta didik mampu menganalisis pengaruh faktor abiotik terhadap makhluk hidup.	Siswa mampu menjelaskan hubungan suhu dengan perubahan kondisi daun secara logis.	Soal 2: Analisis hubungan antara kenaikan suhu dengan perubahan kondisi daun pada hari ke-5.
Inferensi (Menarik kesimpulan)	Peserta didik mampu menyimpulkan faktor penyebab perubahan keseimbangan ekosistem.	Siswa mampu menarik kesimpulan logis berdasarkan data pengamatan.	Soal 3: Simpulkan faktor utama yang memengaruhi perubahan kondisi tanaman berdasarkan data di atas.
Interpretasi (Menafsirkan data kuantitatif)	Peserta didik mampu menginterpretasi perbedaan hasil pertumbuhan tanaman.	Siswa mampu menjelaskan makna perbedaan tinggi tanaman antar kelompok secara ilmiah.	Soal 4: Interpretasikan perbedaan tinggi tanaman pada ketiga kelompok.
Evaluasi (Menilai argumen/desain)	Peserta didik mampu mengevaluasi efektivitas penggunaan teknologi dalam desain ekosistem.	Siswa mampu menilai kelebihan dan kekurangan lampu LED secara argumentatif.	Soal 5: Nilai kelebihan dan kekurangan penggunaan lampu LED pada Kelompok C dari sudut pandang

			sains dan rekayasa.
Analisis (Menganalisis sistem)	Peserta didik mampu menganalisis peran ventilasi dalam keseimbangan ekosistem mini.	Siswa mampu menjelaskan hubungan ventilasi dengan suhu dan kelembapan.	Soal 6: Analisis pengaruh ventilasi terhadap keseimbangan suhu dan kelembapan dalam terarium.
Eksplanasi (Menjelaskan konsep ilmiah)	Peserta didik mampu menjelaskan hubungan konsep fotosintesis dengan intensitas cahaya.	Siswa mampu menjelaskan proses fotosintesis secara runtut dan ilmiah.	Soal 7: Jelaskan hubungan antara intensitas cahaya dan proses fotosintesis pada proyek tersebut.
Evaluasi (Menilai dampak kesalahan)	Peserta didik mampu mengevaluasi dampak kesalahan perhitungan terhadap sistem ekosistem.	Siswa mampu menjelaskan dampak kesalahan volume air secara logis dan berbasis konsep.	Soal 8: Evaluasi dampak kesalahan perhitungan volume air terhadap keseimbangan ekosistem mini.
Self-Regulation (Refleksi diri)	Peserta didik mampu merefleksikan proses kerja kelompok dalam proyek STEM.	Siswa mampu mengidentifikasi kelemahan dan merancang perbaikan konkret.	Soal 9: Refleksikan kesalahan dalam kerja kelompok dan jelaskan strategi perbaikannya.
Inferensi & Eksplanasi (Menyusun kesimpulan berbasis konsep)	Peserta didik mampu menyimpulkan revisi desain terbaik berdasarkan prinsip ekosistem.	Siswa mampu menyusun kesimpulan argumentatif dan menjelaskan alasan ilmiahnya.	Soal 10: Jika proyek diulang, simpulkan perubahan desain yang perlu dilakukan dan jelaskan alasan ilmiahnya.

Sumber: Olahan Peneliti (2026)

Berdasarkan Tabel 1, instrumen tes keterampilan berpikir kritis disusun berdasarkan indikator Facione yang meliputi interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, dan *self-regulation*. Setiap indikator dihubungkan dengan tujuan pembelajaran, indikator capaian, serta pertanyaan soal yang relevan dengan proyek ekosistem berbasis STEM.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian diawali dengan pemberian *pretest* kepada kelompok eksperimen dan kelompok kontrol untuk mengetahui kemampuan awal berpikir kritis siswa. Selanjutnya, kelompok eksperimen mengikuti pembelajaran menggunakan model PjBL berbasis STEM yang menekankan kegiatan proyek berbasis pemecahan masalah ekosistem, sedangkan kelompok kontrol mengikuti

pembelajaran Biologi dengan pendekatan konvensional. Setelah perlakuan diberikan, kedua kelompok diberikan *posttest* untuk mengetahui peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa.

Sintaks pembelajaran PjBL berbasis STEM yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Sintaks PjBL Berbasis STEM

Sintaks PjBL–STEM	Kegiatan Guru	Kegiatan Peserta Didik
1. Start with a Challenging Question or Problem (<i>Science</i>)	• Guru menyampaikan isu/masalah nyata yang relevan dengan konteks STEM. • Guru mengarahkan peserta didik memahami inti tantangan dengan cara bertanya terbuka.	• Peserta didik mengamati, menyimak video/gambar/soal masalah yang diberikan. • Peserta didik merumuskan pertanyaan atau hipotesis awal terkait masalah tersebut.
2. Conduct In-Depth Inquiry (<i>Science & Mathematics</i>)	• Guru memberikan sumber belajar (bacaan, video, data, alat ukur) untuk mendukung penyelidikan. • Guru memfasilitasi diskusi awal strategi investigasi ilmiah dan pengumpulan data.	• Peserta didik melakukan eksplorasi, pengamatan, eksperimen, pengumpulan dan pemrosesan data. • Peserta didik mencatat hasil temuan dalam bentuk tabel, grafik, atau diagram analitis.
3. Encourage Student Voice and Choice (<i>Engineering & Technology</i>)	• Guru memberi kebebasan peserta didik memilih pendekatan/solusi STEM mereka sendiri. • Guru memberikan bimbingan tentang penggunaan teknologi atau alat desain.	• Peserta didik memilih metode teknis sendiri dalam proyek. • Peserta didik menggunakan alat teknologi atau rekayasa untuk desain solusi proyek.
4. Collaborate, Revise, and Reflect (<i>Engineering & Metacognition</i>)	• Guru memonitor proses kerja kelompok dan memberikan umpan balik berkelanjutan. • Guru menstimulasi diskusi untuk refleksi proses dan revisi solusi.	• Peserta didik bekerja kolaboratif, berbagi tugas dan berpikir kritis dalam revisi desain proyek. • Peserta didik mengevaluasi efektivitas solusi berdasarkan data ilmiah.
5. Present the Project to an Authentic Audience (<i>Technology & Communication</i>)	• Guru memfasilitasi sesi presentasi hasil proyek kepada kelas atau audiens lebih luas. • Guru memandu proses tanya jawab dan refleksi.	• Peserta didik mempresentasikan hasil proyek secara sistematis. • Peserta didik menjelaskan hubungan masalah, data, solusi dalam konteks STEM.
6. Reflect and Evaluate (STEM Terintegrasi)	• Guru memberikan evaluasi dan umpan balik terhadap proses dan produk akhir. • Guru bersama peserta didik menyimpulkan pembelajaran.	• Peserta didik melakukan refleksi individu dan kelompok atas proses pembelajaran. • Peserta didik mengidentifikasi kelebihan, kelemahan, dan ide perbaikan.

Sumber PT STEM Sports, (2023) & BPMP Aceh, (2024)

Berdasarkan Tabel 2, pembelajaran PjBL berbasis STEM dilakukan melalui enam tahapan utama yang menuntun peserta didik untuk memahami masalah, melakukan penyelidikan, merancang solusi, merevisi hasil kerja, mempresentasikan proyek, serta melakukan refleksi dan evaluasi. Sintaks tersebut memberikan ruang bagi peserta didik untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis melalui kegiatan analisis, evaluasi, pemecahan masalah, dan pengambilan keputusan berbasis data.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahap. Tahap awal berupa uji prasyarat analisis yang meliputi uji normalitas menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov dan uji homogenitas menggunakan uji Levene untuk memastikan data memenuhi asumsi statistik parametrik. Setelah prasyarat terpenuhi, data dianalisis menggunakan *Independent Sample t-Test* untuk mengetahui perbedaan rata-rata keterampilan berpikir kritis antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol.

Perhitungan data dalam penelitian ini dilakukan dengan bantuan *IBM SPSS Statistics for Windows* Versi 29.0. Hasil analisis digunakan sebagai dasar untuk menarik kesimpulan mengenai pengaruh penerapan model PjBL berbasis STEM terhadap keterampilan berpikir kritis siswa kelas X SMA Al-Ma'shum Kisaran Barat.

HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis peserta didik mengalami peningkatan setelah proses pembelajaran pada kedua kelompok, baik kelas eksperimen maupun kelas kontrol. Pengukuran dilakukan melalui tes keterampilan berpikir kritis yang terdiri atas 10 soal uraian yang diberikan sebelum pembelajaran (*pretest*) dan setelah pembelajaran (*posttest*).

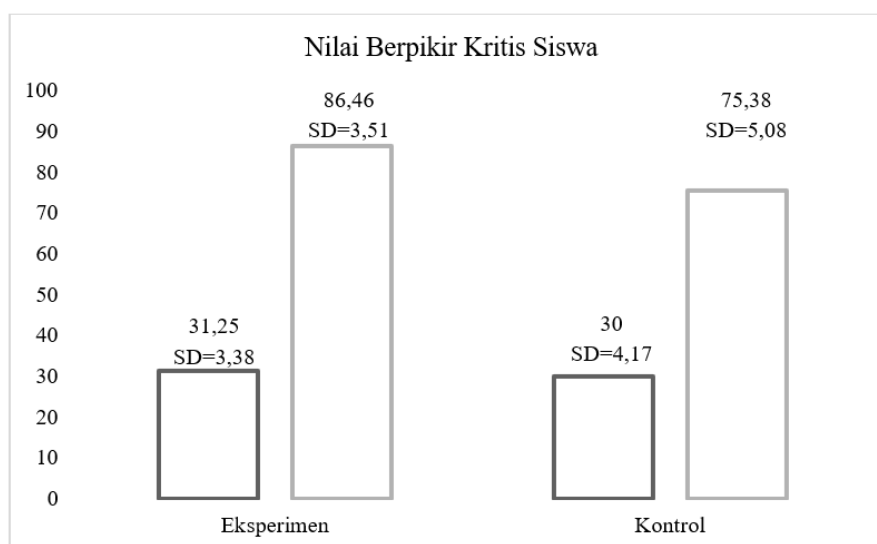
Pada kelas eksperimen yang menerapkan model *Project Based Learning* (PjBL) berbasis STEM, diperoleh rata-rata nilai *pretest* sebesar 31,25 dengan standar deviasi 3,38. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kemampuan awal keterampilan berpikir kritis peserta didik masih berada pada kategori rendah. Setelah diberikan perlakuan berupa pembelajaran menggunakan model PjBL berbasis STEM, rata-rata nilai *posttest* meningkat secara signifikan menjadi 86,46 dengan standar deviasi 3,51. Peningkatan nilai tersebut menunjukkan bahwa peserta didik mengalami perkembangan yang sangat baik dalam keterampilan berpikir kritis setelah mengikuti pembelajaran berbasis proyek yang terintegrasi dengan pendekatan STEM.

Pada kelas kontrol yang menggunakan model pembelajaran konvensional, rata-rata nilai *pretest* sebesar 30,00 dengan standar deviasi 4,17. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kemampuan awal peserta didik pada kelas kontrol relatif setara dengan kemampuan awal peserta didik pada kelas eksperimen. Setelah mengikuti pembelajaran konvensional, rata-rata nilai *posttest* meningkat menjadi

75,38 dengan standar deviasi 5,08. Hasil ini menunjukkan bahwa pembelajaran konvensional juga mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik, meskipun peningkatannya tidak sebesar yang terjadi pada kelas eksperimen.

Perbandingan rata-rata *posttest* antara kedua kelompok menunjukkan bahwa kelas eksperimen memperoleh nilai yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Rata-rata nilai *posttest* kelas eksperimen mencapai 86,46, sedangkan rata-rata nilai *posttest* kelas kontrol sebesar 75,38. Selisih nilai tersebut mengindikasikan bahwa penerapan model PjBL berbasis STEM memberikan hasil yang lebih optimal dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik dibandingkan model pembelajaran konvensional.

Perbandingan nilai rata-rata *pretest* dan *posttest* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol disajikan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Grafik Rata-rata Nilai Berpikir Kritis Siswa

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa nilai rata-rata keterampilan berpikir kritis peserta didik pada kelas eksperimen meningkat dari 31,25 pada *pretest* menjadi 86,46 pada *posttest*, dengan standar deviasi masing-masing sebesar 3,38 dan 3,51. Sementara itu, kelas kontrol juga mengalami peningkatan dari 30,00 pada *pretest* menjadi 75,38 pada *posttest*, dengan standar deviasi masing-masing sebesar 4,17 dan 5,08. Peningkatan pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol, sehingga menunjukkan bahwa penerapan model *Project Based Learning* (PjBL) berbasis STEM memberikan hasil yang lebih optimal dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik dibandingkan pembelajaran konvensional.

Sebelum dilakukan pengujian hipotesis, terlebih dahulu dilakukan uji prasyarat analisis yang meliputi uji normalitas dan uji homogenitas data. Hasil uji normalitas menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,200. Nilai tersebut lebih besar daripada taraf signifikansi 0,05 ($0,200 > 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa data penelitian berdistribusi normal. Kondisi ini menunjukkan bahwa data

keterampilan berpikir kritis pada kedua kelompok memenuhi asumsi normalitas yang diperlukan dalam analisis statistik parametrik.

Hasil uji homogenitas menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,328. Nilai tersebut lebih besar daripada 0,05 ($0,328 > 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa varians data kedua kelompok bersifat homogen. Hasil ini menunjukkan bahwa data berasal dari populasi yang memiliki karakteristik varians yang sama sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan pengujian hipotesis menggunakan uji parametrik.

Setelah seluruh asumsi terpenuhi, pengujian hipotesis dilakukan menggunakan *Independent Sample t-Test* dengan bantuan program *IBM SPSS Statistics for Windows* Versi 29.0. Hasil analisis menunjukkan nilai signifikansi (*Sig. 2-tailed*) sebesar 0,000. Nilai tersebut lebih kecil daripada taraf signifikansi 0,05 ($0,000 < 0,05$), sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_a) diterima.

Berdasarkan hasil uji *Independent Sample t-Test*, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,000 yang lebih kecil dari taraf signifikansi 0,05. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model *Project Based Learning* (PjBL) berbasis STEM memberikan pengaruh yang signifikan terhadap keterampilan berpikir kritis peserta didik. Penerapan model ini mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis secara lebih optimal dibandingkan model pembelajaran konvensional. Hal ini ditunjukkan oleh rata-rata nilai *posttest* kelas eksperimen sebesar 86,46 yang lebih tinggi dibandingkan rata-rata nilai *posttest* kelas kontrol sebesar 75,38. Dengan demikian, penggunaan model PjBL berbasis STEM terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik pada materi ekosistem.

Peningkatan yang terjadi pada kelas eksperimen menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek yang terintegrasi dengan pendekatan STEM mampu memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk terlibat secara aktif dalam proses pemecahan masalah, penyelidikan ilmiah, perancangan solusi, serta evaluasi hasil pembelajaran. Aktivitas tersebut mendorong peserta didik untuk menggunakan kemampuan analisis, interpretasi, evaluasi, dan penarikan kesimpulan secara lebih mendalam. Sebaliknya, pada pembelajaran konvensional, aktivitas peserta didik cenderung lebih terbatas pada penerimaan informasi dari guru sehingga peluang untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis tidak seintensif pembelajaran berbasis proyek.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *Project Based Learning* (PjBL) berbasis STEM lebih efektif dibandingkan model pembelajaran konvensional dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Temuan ini diperkuat oleh hasil uji statistik yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara kedua kelompok pembelajaran. Dengan demikian, model PjBL berbasis STEM dapat direkomendasikan sebagai salah satu alternatif pembelajaran yang efektif untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan model *Project Based Learning* (PjBL) berbasis STEM memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik pada materi ekosistem. Temuan ini dibuktikan melalui hasil analisis deskriptif dan inferensial yang menunjukkan adanya peningkatan keterampilan berpikir kritis pada kedua kelompok penelitian. Namun, peningkatan yang terjadi pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Rata-rata nilai *pretest* kelas eksperimen sebesar 31,25 meningkat menjadi 86,46 pada *posttest*, sedangkan pada kelas kontrol rata-rata nilai *pretest* sebesar 30,00 meningkat menjadi 75,38 pada *posttest*. Hasil uji *Independent Sample t-Test* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($< 0,05$), yang berarti bahwa penerapan model PjBL berbasis STEM berpengaruh secara signifikan terhadap keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran yang dirancang melalui proyek dan diintegrasikan dengan pendekatan STEM mampu menciptakan lingkungan belajar yang lebih kondusif untuk mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi dibandingkan pembelajaran konvensional. Pada awal penelitian, kemampuan berpikir kritis peserta didik pada kedua kelompok relatif setara. Hal ini terlihat dari nilai rata-rata *pretest* yang tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan yang terjadi pada akhir pembelajaran lebih banyak dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan selama proses pembelajaran daripada faktor kemampuan awal peserta didik.

Peningkatan keterampilan berpikir kritis pada kelas eksperimen dapat dijelaskan melalui karakteristik utama model *Project Based Learning* yang menempatkan peserta didik sebagai aktor utama dalam proses pembelajaran. Dalam model ini, peserta didik tidak hanya menerima informasi secara pasif, tetapi terlibat secara langsung dalam berbagai aktivitas yang menuntut kemampuan berpikir kritis. Aktivitas tersebut meliputi identifikasi masalah, perumusan pertanyaan penelitian, pengumpulan data, analisis informasi, perancangan solusi, pelaksanaan proyek, evaluasi hasil, dan penyusunan laporan. Setiap tahapan pembelajaran menuntut peserta didik untuk menggunakan proses berpikir yang kompleks sehingga keterampilan berpikir kritis berkembang secara bertahap dan berkelanjutan.

Bell (2010) menyatakan bahwa *Project Based Learning* merupakan model pembelajaran yang memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk membangun pengetahuan melalui pengalaman langsung dalam menyelesaikan permasalahan autentik. Pembelajaran berbasis proyek mendorong peserta didik menjadi pembelajar aktif yang bertanggung jawab terhadap proses dan hasil belajarnya sendiri. Ketika peserta didik dihadapkan pada suatu permasalahan nyata, mereka harus mampu mengidentifikasi informasi yang relevan, membedakan fakta dan opini, mengevaluasi berbagai alternatif solusi, serta mengambil keputusan

berdasarkan bukti yang tersedia. Aktivitas tersebut merupakan bagian penting dari keterampilan berpikir kritis.

Integrasi pendekatan STEM dalam *Project Based Learning* semakin memperkuat proses pengembangan keterampilan berpikir kritis. STEM merupakan pendekatan pembelajaran yang mengintegrasikan empat disiplin ilmu, yaitu *Science*, *Technology*, *Engineering*, dan *Mathematics* dalam satu kesatuan proses pembelajaran. Integrasi tersebut memungkinkan peserta didik memahami bahwa permasalahan kehidupan nyata tidak dapat diselesaikan hanya melalui satu disiplin ilmu, tetapi memerlukan pendekatan multidisipliner yang komprehensif. Bybee (2013) menjelaskan bahwa pendidikan STEM dirancang untuk mengembangkan kemampuan berpikir analitis, pemecahan masalah, pengambilan keputusan, dan inovasi melalui pengalaman belajar yang kontekstual.

Penerapan STEM terlihat melalui kegiatan proyek yang mengharuskan peserta didik menghubungkan konsep-konsep ekosistem dengan kondisi lingkungan di sekitar mereka. Unsur *science* diwujudkan melalui proses pengamatan terhadap komponen biotik dan abiotik serta interaksi yang terjadi dalam suatu ekosistem. Unsur *technology* terlihat dari pemanfaatan berbagai media dan sumber informasi untuk mendukung proses pembelajaran. Unsur *engineering* muncul ketika peserta didik merancang dan mengembangkan proyek sebagai solusi terhadap permasalahan yang ditemukan. Unsur *mathematics* digunakan dalam proses pengukuran, pengolahan data, dan interpretasi hasil proyek. Integrasi keempat unsur tersebut menciptakan pengalaman belajar yang lebih bermakna dan menantang sehingga mampu mengoptimalkan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Materi ekosistem memiliki karakteristik yang sangat sesuai dengan penerapan model PjBL berbasis STEM. Ekosistem merupakan konsep yang bersifat kontekstual dan dekat dengan kehidupan peserta didik sehingga memungkinkan pembelajaran dilakukan melalui observasi langsung terhadap lingkungan sekitar. Peserta didik dapat mengamati hubungan antara makhluk hidup dan lingkungannya, menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi keseimbangan ekosistem, serta mengidentifikasi berbagai permasalahan lingkungan yang terjadi di sekitar mereka. Kondisi ini memberikan peluang bagi peserta didik untuk menerapkan konsep-konsep yang dipelajari dalam situasi nyata.

Selama proses pembelajaran, peserta didik dituntut untuk melakukan penyelidikan ilmiah terhadap berbagai fenomena lingkungan. Mereka harus mengumpulkan data, mengidentifikasi pola hubungan antarvariabel, menganalisis penyebab suatu masalah, serta merumuskan solusi yang dapat diterapkan. Kegiatan tersebut secara langsung melatih kemampuan berpikir ilmiah yang menjadi dasar keterampilan berpikir kritis. Facione (2015) menjelaskan bahwa berpikir kritis mencakup kemampuan interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, dan regulasi diri. Seluruh indikator tersebut berkembang melalui aktivitas pembelajaran

berbasis proyek yang menuntut peserta didik untuk berpikir secara sistematis dan reflektif.

Keunggulan lain dari model PjBL berbasis STEM adalah kemampuannya dalam menciptakan pembelajaran yang berorientasi pada pemecahan masalah. Pembelajaran tidak lagi berfokus pada hafalan konsep, tetapi pada kemampuan peserta didik menggunakan pengetahuan yang dimiliki untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi. Dalam konteks materi ekosistem, peserta didik tidak hanya mempelajari definisi komponen biotik dan abiotik, tetapi juga menganalisis dampak kerusakan lingkungan, perubahan keseimbangan ekosistem, pencemaran, serta berbagai persoalan lingkungan lainnya. Proses tersebut mendorong peserta didik untuk berpikir secara kritis dalam memahami hubungan sebab-akibat yang terjadi dalam suatu sistem ekologi.

Temuan penelitian ini juga dapat dijelaskan melalui perspektif teori konstruktivisme. Teori konstruktivisme menyatakan bahwa pengetahuan tidak ditransfer secara langsung dari guru kepada peserta didik, melainkan dibangun melalui interaksi aktif dengan lingkungan belajar. Vygotsky (1978) dalam Schunk (2012) menjelaskan bahwa pembelajaran yang efektif terjadi ketika peserta didik terlibat dalam aktivitas sosial yang memungkinkan mereka membangun makna melalui pengalaman dan interaksi dengan orang lain. Dalam model PjBL berbasis STEM, peserta didik bekerja secara kolaboratif dalam kelompok untuk menyelesaikan proyek yang diberikan. Interaksi tersebut memungkinkan terjadinya pertukaran ide, argumentasi, klarifikasi konsep, dan refleksi yang mendukung perkembangan keterampilan berpikir kritis.

Kolaborasi yang terjadi selama pelaksanaan proyek juga berkontribusi terhadap peningkatan kualitas proses berpikir peserta didik. Ketika peserta didik berdiskusi mengenai suatu masalah, mereka dituntut untuk menyampaikan pendapat secara logis, memberikan alasan yang mendukung argumentasi, mengevaluasi pendapat teman, dan mencapai kesepakatan berdasarkan bukti yang tersedia. Proses tersebut melatih keterampilan berpikir kritis sekaligus mengembangkan keterampilan komunikasi dan kerja sama yang menjadi kompetensi penting dalam pembelajaran abad ke-21.

Peningkatan keterampilan berpikir kritis pada kelas kontrol menunjukkan bahwa pembelajaran konvensional tetap memberikan kontribusi terhadap perkembangan kemampuan peserta didik. Guru masih mampu menyampaikan materi secara sistematis sehingga peserta didik memperoleh pemahaman konseptual yang lebih baik dibandingkan sebelum pembelajaran. Namun, pembelajaran konvensional memiliki keterbatasan dalam memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk melakukan eksplorasi dan investigasi secara mandiri. Aktivitas pembelajaran cenderung berpusat pada guru sehingga peserta didik lebih banyak berperan sebagai penerima informasi daripada pencari dan pengembang pengetahuan.

Slavin (2018) menjelaskan bahwa pembelajaran yang berpusat pada guru umumnya efektif untuk menyampaikan informasi dalam waktu yang relatif singkat, tetapi kurang optimal dalam mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Peserta didik cenderung menghafal informasi yang diberikan tanpa memperoleh kesempatan yang memadai untuk menguji, menganalisis, dan mengevaluasi informasi tersebut. Kondisi ini menjelaskan mengapa peningkatan keterampilan berpikir kritis pada kelas kontrol tidak setinggi peningkatan yang terjadi pada kelas eksperimen.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Fitriyah dan Ramadani (2021). Penelitian tersebut menemukan bahwa pembelajaran berbasis proyek yang diintegrasikan dengan pendekatan STEM memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik dibandingkan pembelajaran konvensional. Peningkatan tersebut terjadi karena peserta didik terlibat secara aktif dalam proses penyelidikan, pemecahan masalah, dan pengembangan produk yang relevan dengan kehidupan nyata. Temuan tersebut mendukung hasil penelitian ini bahwa integrasi STEM dalam PjBL mampu menciptakan lingkungan belajar yang mendorong peserta didik melakukan analisis, evaluasi, dan pengambilan keputusan secara lebih mendalam.

Penelitian ini juga didukung oleh Herlita et al. (2023). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa peserta didik yang belajar menggunakan model PjBL-STEM memiliki keterampilan berpikir kritis yang lebih tinggi dibandingkan peserta didik yang belajar menggunakan model pembelajaran konvensional. PjBL-STEM dinilai efektif karena memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengintegrasikan konsep sains, teknologi, rekayasa, dan matematika dalam penyelesaian masalah nyata. Temuan tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini yang menunjukkan bahwa aktivitas proyek pada materi ekosistem mampu meningkatkan kemampuan peserta didik dalam menginterpretasikan informasi, menganalisis data, mengevaluasi alternatif solusi, dan menarik kesimpulan berdasarkan bukti ilmiah.

Temuan penelitian ini memiliki implikasi teoritis dan praktis yang penting. Secara teoritis, hasil penelitian memperkuat pandangan konstruktivisme bahwa pembelajaran yang berpusat pada peserta didik dan berbasis pengalaman nyata mampu meningkatkan kualitas proses berpikir. Secara praktis, hasil penelitian memberikan bukti empiris bahwa model PjBL berbasis STEM dapat digunakan sebagai alternatif pembelajaran yang efektif untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis pada pembelajaran Biologi, khususnya materi ekosistem.

Keterampilan berpikir kritis merupakan salah satu kompetensi utama yang dibutuhkan pada abad ke-21. Perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan informasi menuntut peserta didik memiliki kemampuan untuk menganalisis informasi secara kritis, mengevaluasi berbagai sumber informasi, serta mengambil keputusan yang tepat berdasarkan bukti yang tersedia. Model PjBL berbasis STEM mampu memfasilitasi pengembangan kompetensi tersebut melalui pembelajaran

yang aktif, kontekstual, kolaboratif, dan berorientasi pada pemecahan masalah. Dengan demikian, penerapan model *Project Based Learning* berbasis STEM tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan hasil belajar kognitif, tetapi juga berperan penting dalam mempersiapkan peserta didik menghadapi tantangan kehidupan dan dunia kerja pada era abad ke-21.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa model *Project Based Learning* (PjBL) berbasis STEM berpengaruh signifikan terhadap keterampilan berpikir kritis peserta didik pada materi ekosistem. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan rata-rata nilai keterampilan berpikir kritis pada kelas eksperimen dari 31,25 pada *pretest* menjadi 86,46 pada *posttest*, lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol yang meningkat dari 30,00 menjadi 75,38. Hasil uji *Independent Sample t-Test* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($< 0,05$), sehingga hipotesis alternatif (H_a) diterima.

Temuan ini membuktikan bahwa penerapan model PjBL berbasis STEM lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Model PjBL berbasis STEM mampu mendorong peserta didik untuk terlibat aktif dalam pemecahan masalah, investigasi, analisis, dan pengambilan keputusan melalui kegiatan proyek yang kontekstual. Oleh karena itu, model ini dapat direkomendasikan sebagai alternatif pembelajaran yang efektif untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis pada pembelajaran Biologi, khususnya materi ekosistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriana, J., Permanasari, A., & Fitriani, A. (2016). Penerapan *Project Based Learning* terintegrasi STEM untuk meningkatkan literasi sains siswa ditinjau dari gender. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 2(2), 202–212. <https://doi.org/10.21831/jipi.v2i2.8561>
- Arikunto, S. (2010). *Prosedur penelitian: Suatu pendekatan praktik*. Rineka Cipta.
- Balai Penjaminan Mutu Pendidikan Provinsi Aceh. (2024). *STEM dan model-model pembelajaran*. <https://bpmpaceh.kemendikdasmen.go.id/stem-dan-model-model-pembelajaran/>
- Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 83(2), 39–43. <https://doi.org/10.1080/00098650903505415>
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.
- Capraro, R. M., Capraro, M. M., & Morgan, J. R. (Eds.). (2013). *STEM project-based learning: An integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach*. Sense Publishers.

- Chai, C. S., Jong, M. S., & Yan, Z. (2020). Surveying Chinese teachers' technological pedagogical STEM knowledge. *Educational Technology & Society*, 23(3), 97–109. <https://doi.org/10.1504/IJMLO.2020.106181>
- Creswell, J. W. (2015). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (3rd ed.). Sage Publications.
- English, L. D., & King, D. (2019). STEM integration in sixth grade: Designing and constructing paper bridges. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(5), 863–884. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9912-0>
- Facione, P. A. (2015). *Critical thinking: What it is and why it counts*. Measured Reasons LLC. <http://www.insightassessment.com/content/download/1176/7580/file/what/26why2010.pdf>
- Fitriyah, A., & Ramadani, S. D. (2021). Pengaruh pembelajaran STEAM berbasis PjBL (*Project-Based Learning*) terhadap keterampilan berpikir kreatif dan berpikir kritis. *Inspiratif Pendidikan*, 10(1), 209–226. <https://doi.org/10.24252/ip.v10i1.17642>
- Fraenkel, J. R., & Wallen, N. E. (2009). *How to design and evaluate research in education* (7th ed.). McGraw-Hill.
- Herlita, F., Yamtinah, S., & Wati, I. K. (2023). The effect of the PjBL-STEM model on students' critical thinking ability in science learning. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 9(2), 192–202. <https://doi.org/10.21831/jipi.v9i2.57963>
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Khafah, F., Suprpto, P. K., & Nuryadin, E. (2023). The effect of project-based learning model on students' critical and creative thinking skills in the ecosystem concept. *JPBI: Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 9(3), 244–255. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v9i3.27461>
- Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*, 19(3), 267–277. <https://doi.org/10.1177/1365480216659733>
- Li, Y., Wang, K., Xiao, Y., & Froyd, J. E. (2020). Research and trends in STEM education: A systematic review of journal publications. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00207-6>
- Margot, K. C., & Kettler, T. (2019). Teachers' perception of STEM integration and education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 6(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0151-2>
- Moore, T. J., & Smith, K. A. (2020). Advancing the state of the art of STEM integration. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 21(1), 5–10.

- Novitasari, A., Isnaini, L. A., & Supriyadi. (2024). The STEM-based project-based learning impact on students' critical thinking skills. *Inornatus: Biology Education Journal*, 4(2), 91–102. <https://doi.org/10.30862/inornatus.v4i2.652>
- OECD. (2021). *Education at a glance 2021: OECD indicators*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/b35a14e5-en>
- PT STEM Sports. (2023). *Exploring the 7 steps of project-based learning*. <https://stemsports.com/the-7-steps-of-project-based-learning/>
- Ramadhani, W. S., Azizah, U., & Nasrudin, H. (2024). Project-based learning on critical thinking skills in science learning: Meta-analysis. *SAR Journal*, 7(2), 136–142. <https://doi.org/10.18421/SAR72-10>
- Rahmawati, D., & Sudarisman, S. (2023). Integrasi pendekatan STEM dalam pembelajaran biologi untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah lingkungan. *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 16(1), 45–56.
- Sanjaya, W. (2016). *Strategi pembelajaran berorientasi standar proses pendidikan*. Kencana Prenada Media.
- Sari, D. P., Prasetyo, Z. K., & Wibowo, W. S. (2022). Development of critical thinking skills instrument on ecosystem material based on socioscientific issues. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*, 15(1), 1–12.
- Schunk, D. H. (2012). *Learning theories: An educational perspective* (6th ed.). Pearson.
- Slavin, R. E. (2018). *Educational psychology: Theory and practice* (12th ed.). Pearson Education.
- Sugiyono. (2013). *Metode penelitian pendidikan: Pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P., & Depaepe, F. (2018). Integrated STEM education: A systematic review of instructional practices in secondary education. *European Journal of STEM Education*, 3(1), 2. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>
- UNESCO. (2021). *Reimagining our futures together: A new social contract for education*. UNESCO.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wandari, W., Nursamsu, N., & Wahyuni, A. (2024). Peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa biologi dengan menggunakan model PjBL berbasis STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*). *Biodik*, 10(4), 743–754. <https://doi.org/10.22437/biodik.v10i4.38431>