

Pengaruh Pembelajaran Berbasis Stem Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Dan Kolaborasi Siswa Pada Topik Proyek Informatika

Fahrur Roji

Program Studi Pendidikan Teknik Informatika dan Komputer, Institut Prima Bangsa, Cirebon,
Indonesia

Abstrak

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen semu dan desain Pretest-Posttest Control Group Design. Populasi penelitian adalah seluruh siswa kelas XI SMA Negeri 1 Pabedilan tahun ajaran 2024/2025, dengan sampel sebanyak 36 siswa kelas XI-A yang ditentukan secara purposif. Teknik pengumpulan data menggunakan tes berpikir kritis dan lembar observasi kolaborasi, yang telah diuji validitas dan reliabilitasnya. Analisis data dilakukan dengan uji normalitas, uji homogenitas, uji t berpasangan (paired sample t-test), dan uji N-Gain menggunakan SPSS versi 26. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis STEM berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kolaborasi siswa. Rata-rata skor kemampuan berpikir kritis meningkat dari 61,79 (pretest) menjadi 85,57 (posttest) dengan nilai Sig. = 0,000 < 0,05, serta nilai N-Gain sebesar 0,62 (kategori sedang–tinggi). Selain itu, hasil korelasi menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara penerapan STEM dan kolaborasi siswa dengan nilai $r = 0,980$ dan Sig. = 0,000. Hal ini membuktikan bahwa pembelajaran STEM tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual, tetapi juga mendorong interaksi sosial dan kerja tim yang efektif. Dapat disimpulkan bahwa penerapan pembelajaran berbasis STEM efektif untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan kolaborasi siswa, terutama dalam pembelajaran berbasis proyek (Project-Based Informatics). Pendekatan ini dapat dijadikan acuan oleh pendidik untuk menciptakan proses pembelajaran yang kontekstual, interdisipliner, dan relevan dengan kebutuhan pendidikan abad ke-21.

Kata Kunci: Pembelajaran STEM, Berpikir Kritis, Kolaborasi, Proyek Informatika, Pendidikan Abad 21.

Abstract

This research employed a quantitative quasi-experimental method with a Pretest-Posttest Control Group Design. The population consisted of all 11th-grade students of SMA Negeri 1 Pabedilan in the 2024/2025 academic year, with 36 students selected as the experimental class. Data collection utilized a critical thinking test and collaboration observation sheet, both validated and tested for reliability. Data analysis was conducted using SPSS version 26, including normality, homogeneity, paired t-test, and N-Gain analysis. The findings indicate that STEM-based learning significantly improves students' critical thinking and collaboration skills. The average critical thinking score increased from 61.79 (pretest) to 85.57 (posttest) with Sig. = 0.000 < 0.05 and an N-Gain value of 0.62 (medium–high category). Additionally, the correlation test showed a very strong relationship between STEM implementation and student collaboration ($r = 0.980$; Sig. = 0.000). These results demonstrate that STEM learning not only enhances conceptual understanding but also fosters effective social interaction and teamwork. In conclusion, STEM-based learning is proven effective in enhancing students' critical thinking and collaboration skills, particularly in project-based informatics learning. The STEM approach can serve as a reference for educators to design contextual, interdisciplinary, and student-centered learning aligned with 21st-century education demands.

Keywords: *STEM Learning, Critical Thinking, Collaboration, Informatics Project, 21st-Century Education*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan informasi di era Revolusi Industri 4.0 menuntut dunia pendidikan untuk beradaptasi dalam menyiapkan sumber daya manusia yang kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif. Kompetensi abad ke-21 tersebut menjadi landasan penting dalam mencetak generasi yang mampu berpikir logis, bekerja sama, dan berinovasi menghadapi kompleksitas permasalahan global. Namun, kondisi di lapangan menunjukkan bahwa sebagian besar proses pembelajaran di sekolah masih berorientasi pada teacher-centered learning, di mana guru berperan dominan sementara siswa cenderung pasif.

Kondisi tersebut juga terjadi di SMA Negeri 1 Pabedilan, berdasarkan hasil observasi awal pada mata pelajaran Proyek Informatika. Sebagian besar siswa belum mampu menunjukkan kemampuan berpikir kritis dan kerja sama tim yang optimal. Siswa sering hanya menunggu instruksi guru tanpa inisiatif dalam menemukan solusi terhadap permasalahan yang diberikan. Akibatnya, kemampuan analisis, sintesis, dan evaluasi siswa terhadap suatu permasalahan masih rendah, serta keterampilan kolaborasi antarsiswa kurang terbangun dengan baik.

Menurut Trilling dan Fadel (2019), kemampuan berpikir kritis merupakan salah satu indikator utama pembelajaran abad ke-21 yang berfungsi membantu siswa dalam memecahkan masalah berdasarkan penalaran logis dan bukti yang relevan. Sedangkan kolaborasi merupakan kemampuan bekerja sama dalam mencapai tujuan bersama dengan saling menghargai perbedaan pendapat dan peran. Kedua keterampilan ini tidak dapat tumbuh hanya melalui pembelajaran teoritis, tetapi perlu difasilitasi melalui model pembelajaran yang melibatkan siswa secara aktif, eksploratif, dan berbasis proyek nyata.

Salah satu pendekatan yang relevan dan terbukti efektif dalam mengembangkan kompetensi tersebut adalah pembelajaran berbasis STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics). Menurut Bybee (2018), STEM merupakan pendekatan integratif yang memadukan konsep sains, teknologi, teknik, dan matematika dalam satu kesatuan untuk menyelesaikan masalah secara komprehensif dan kontekstual. Pembelajaran berbasis STEM berorientasi pada proyek nyata (project-based learning), di mana siswa dituntut untuk berpikir kritis, bekerja sama, dan mengintegrasikan berbagai pengetahuan lintas disiplin untuk menciptakan solusi terhadap permasalahan kehidupan sehari-hari.

Dalam konteks mata pelajaran Proyek Informatika, pendekatan STEM sangat sesuai karena melibatkan kegiatan pemecahan masalah berbasis teknologi, pengembangan sistem digital sederhana, serta penerapan prinsip rekayasa perangkat lunak dan desain grafis. Siswa tidak hanya dituntut untuk menguasai teori, tetapi juga untuk merancang produk, bekerja dalam tim, dan mempresentasikan hasilnya. Dengan demikian, pembelajaran berbasis STEM mampu mengubah paradigma pembelajaran dari sekadar memahami konsep menjadi "learning by doing".

Hasil penelitian terdahulu juga mendukung efektivitas model ini. Rahmawati (2019) menemukan bahwa penerapan pembelajaran berbasis STEM mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa SMK hingga 35%. Kim et al. (2022) menunjukkan bahwa pembelajaran STEM berperan besar dalam menumbuhkan keterampilan kolaborasi dan kreativitas siswa karena menuntut koordinasi dan tanggung jawab dalam proyek kelompok. Penelitian Spyropoulou (2021) bahkan menegaskan bahwa STEM mendorong siswa untuk berpikir reflektif dan komunikatif, yang merupakan inti dari pembelajaran berbasis karakter dan inovasi.

Namun demikian, meskipun banyak penelitian telah membuktikan efektivitas STEM, implementasinya di tingkat sekolah menengah masih menghadapi tantangan, seperti keterbatasan pemahaman guru terhadap konsep integratif STEM, kurangnya sarana teknologi, serta rendahnya keterlibatan aktif siswa dalam kegiatan berbasis proyek. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menguji secara empiris pengaruh pembelajaran berbasis STEM terhadap kemampuan berpikir kritis dan kolaborasi siswa, khususnya pada topik Proyek Informatika di SMA Negeri 1 Pabedilan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen semu (quasi-experimental design). Pendekatan ini dipilih karena penelitian bertujuan untuk mengetahui adanya pengaruh dari perlakuan tertentu dalam hal ini pembelajaran berbasis STEM terhadap dua variabel terikat, yaitu kemampuan berpikir kritis dan kolaborasi siswa. Menurut Sugiyono (2021), eksperimen semu digunakan ketika peneliti tidak dapat sepenuhnya mengontrol variabel luar yang

memengaruhi hasil penelitian, namun tetap memberikan perlakuan secara sistematis pada kelompok subjek tertentu.

Desain penelitian yang digunakan adalah *Pretest-Posttest Control Group Design*, yang memungkinkan peneliti membandingkan hasil sebelum dan sesudah penerapan model pembelajaran pada satu kelompok eksperimen. Rancangan ini digambarkan sebagai berikut:

Kelompok	Pretest	Perlakuan	Posttest
Eksperimen O ₁	X		O ₂

Keterangan:

O₁ = Tes awal (pretest) kemampuan berpikir kritis dan kolaborasi
 X = Perlakuan (penerapan model pembelajaran berbasis STEM)
 O₂ = Tes akhir (posttest) kemampuan berpikir kritis dan kolaborasi

2.2. Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siswa kelas XI SMA Negeri 1 Pabedilan tahun ajaran 2024/2025 yang berjumlah 72 siswa. Pengambilan sampel dilakukan dengan teknik purposive sampling, dengan pertimbangan bahwa kelas yang dipilih memiliki karakteristik homogen dari segi kemampuan akademik dan telah menempuh mata pelajaran *Proyek Informatika*.

Sampel penelitian terdiri dari 36 siswa kelas XI-A yang dijadikan sebagai kelompok eksperimen. Seluruh peserta diberikan pretest dan posttest untuk mengukur perubahan kemampuan berpikir kritis dan kolaborasi setelah penerapan pembelajaran berbasis STEM.

2.3. Variabel Penelitian

Penelitian ini melibatkan dua jenis variabel:

- Variabel bebas (X): Pembelajaran berbasis STEM
- Variabel terikat (Y₁): Kemampuan berpikir kritis
 Variabel terikat (Y₂): Kemampuan kolaborasi
 Hubungan antarvariabel digambarkan sebagai berikut:
 STEM (X) → Berpikir Kritis (Y₁)
 STEM (X) → Kolaborasi (Y₂)

2.4. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Tes Kemampuan Berpikir Kritis
 - Bentuk instrumen: soal uraian (essay test) sebanyak 10 butir.
 - Indikator berpikir kritis mengacu pada Ennis (2015), meliputi:
 - mengidentifikasi masalah,
 - memberikan alasan logis,
 - menganalisis argumen,
 - mengevaluasi bukti,
 - mengambil keputusan.
 - Skor diberikan menggunakan rubrik penilaian berpikir kritis dengan skala 1–4.
- Lembar Observasi Kemampuan Kolaborasi
 - Digunakan untuk menilai kemampuan kerja sama siswa selama pelaksanaan proyek.
 - Indikator diadaptasi dari NEA (2007) dan Putri & Qosyim (2021), mencakup:
 - kemampuan berkomunikasi,
 - partisipasi aktif,
 - tanggung jawab,
 - kemampuan menyelesaikan konflik,
 - kontribusi terhadap hasil kelompok.

- Penilaian dilakukan oleh dua observer dengan skala Likert 1–5 untuk menjaga objektivitas.
- 3. Dokumentasi dan Catatan Lapangan
 - Berisi data tambahan seperti foto kegiatan, hasil proyek, dan refleksi guru.
 - Digunakan untuk memperkuat analisis hasil pembelajaran dan validasi perilaku kolaboratif siswa.

2.5. Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Sebelum digunakan, seluruh instrumen diuji terlebih dahulu pada 10 siswa di luar sampel penelitian untuk memastikan validitas dan reliabilitasnya.

- Uji Validitas: menggunakan rumus korelasi *Product Moment Pearson* dengan kriteria $r_{hitung} > r_{tabel} (0,361)$. Hasil menunjukkan seluruh item dinyatakan valid.
- Uji Reliabilitas: menggunakan rumus *Cronbach's Alpha*, diperoleh nilai 0,812 untuk tes berpikir kritis dan 0,857 untuk lembar observasi kolaborasi, yang menunjukkan reliabilitas tinggi ($\alpha > 0,7$).

2.6. Prosedur Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian meliputi:

1. Tahap Persiapan:
Menyusun perangkat pembelajaran berbasis STEM, menyusun instrumen penelitian, dan melakukan uji coba instrumen.
2. Tahap Pelaksanaan:
 - a) Memberikan pretest kemampuan berpikir kritis dan kolaborasi.
 - b) Melaksanakan pembelajaran berbasis STEM selama 4 kali pertemuan.
 - c) Memberikan posttest setelah seluruh proyek selesai.
3. Tahap Analisis dan Pelaporan:
Mengolah data, menafsirkan hasil, serta menyusun laporan penelitian dan artikel jurnal.

2.7. Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan perangkat lunak SPSS versi 26 dengan tahapan sebagai berikut:

1. Uji Prasyarat Analisis:
 - Uji Normalitas (Kolmogorov-Smirnov)
 - Uji Homogenitas (Levene's Test)
2. Uji Hipotesis:
 - a) Uji *Paired Sample t-Test* untuk mengetahui perbedaan signifikan antara nilai pretest dan posttest kemampuan berpikir kritis dan kolaborasi.
 - b) Uji *N-Gain* untuk mengukur efektivitas peningkatan hasil belajar berdasarkan selisih pretest–posttest.
 - c) Uji Korelasi *Pearson Product Moment* untuk melihat hubungan antara pembelajaran STEM dan kemampuan kolaborasi.
3. Kriteria Keputusan:
Hasil analisis dikatakan signifikan apabila nilai *Sig.* (p-value) < 0,05.

2.8. Ringkasan Desain Penelitian

Komponen	Keterangan
Pendekatan	Kuantitatif Eksperimen Semu
Desain	Pretest-Posttest Control Group Design
Populasi	72 siswa kelas XI SMA Negeri 1 Pabedilan
Sampel	36 siswa kelas XI-A (kelompok eksperimen)
Variabel	X = Pembelajaran STEM; Y ₁ = Berpikir Kritis; Y ₂ = Kolaborasi

Komponen	Keterangan
Instrumen	Tes berpikir kritis, lembar observasi kolaborasi
Analisis Data	Uji t, uji N-Gain, uji korelasi menggunakan SPSS

3. PEMBAHASAN

3.1. Deskripsi Hasil Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di SMA Negeri 1 Pabedilan pada semester genap tahun pelajaran 2024/2025. Sampel penelitian terdiri atas 36 siswa kelas XI-A yang menjadi kelompok eksperimen dan memperoleh pembelajaran berbasis STEM selama empat pertemuan. Data penelitian diperoleh dari hasil pretest dan posttest kemampuan berpikir kritis serta lembar observasi kolaborasi siswa selama proses pembelajaran.

3.2. Hasil Pengukuran Kemampuan Berpikir Kritis

Hasil pengukuran kemampuan berpikir kritis siswa sebelum dan sesudah penerapan pembelajaran STEM dapat dilihat pada tabel berikut:

Statistik	Pretest Posttest Peningkatan		
Nilai Rata-rata	61,79	85,57	+23,78
Nilai Tertinggi	78	94	+16
Nilai Terendah	45	76	+31
Standar Deviasi	8,24	6,57	-1,67

Berdasarkan data tersebut, terjadi peningkatan nilai rata-rata kemampuan berpikir kritis siswa sebesar 23,78 poin setelah diterapkannya pembelajaran berbasis STEM.

Hasil uji *paired sample t-test* menunjukkan nilai Sig. (2-tailed) = 0,000 < 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara hasil pretest dan posttest kemampuan berpikir kritis.

Selain itu, hasil perhitungan N-Gain sebesar 0,62 termasuk dalam kategori sedang–tinggi, yang berarti penerapan pembelajaran berbasis STEM cukup efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa.

Peningkatan ini terjadi karena model pembelajaran STEM memberikan kesempatan bagi siswa untuk menganalisis masalah, mengidentifikasi solusi, dan membuat keputusan berdasarkan data serta logika ilmiah. Hal ini sejalan dengan pendapat Ennis (2015) bahwa berpikir kritis dapat berkembang apabila siswa terlibat dalam proses eksplorasi aktif dan refleksi mendalam terhadap konsep yang dipelajari.

3.3. Hasil Observasi Kemampuan Kolaborasi

Kemampuan kolaborasi siswa diukur menggunakan lembar observasi selama pelaksanaan proyek STEM. Hasil penilaian dirangkum dalam tabel berikut:

Indikator Kolaborasi	Skor Rata-rata	Kategori
Komunikasi dan interaksi	4,32	Sangat Baik
Partisipasi aktif dalam kelompok	4,20	Baik
Tanggung jawab individu	4,35	Sangat Baik
Pemecahan konflik dan toleransi	4,18	Baik
Kontribusi terhadap hasil proyek	4,41	Sangat Baik
Rata-rata keseluruhan	4,29	Sangat Baik

Berdasarkan hasil tersebut, tingkat kolaborasi siswa berada pada kategori sangat baik. Siswa menunjukkan kemampuan berinteraksi, berbagi ide, dan bekerja sama secara efektif dalam menyelesaikan proyek informatika.

Hasil analisis korelasi Pearson antara penerapan pembelajaran STEM dan kemampuan kolaborasi menunjukkan nilai $r = 0,980$ dengan Sig. = 0,000, yang berarti terdapat hubungan positif yang

sangat kuat antara keduanya. Dengan demikian, semakin efektif pelaksanaan pembelajaran berbasis STEM, semakin tinggi pula tingkat kolaborasi siswa.

Temuan ini mendukung hasil penelitian Mejias (2022) yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis proyek dalam pendekatan STEM meningkatkan interaksi sosial dan kerja sama antarsiswa melalui kegiatan pemecahan masalah bersama.

3.4. Pembahasan

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa penerapan pembelajaran berbasis STEM memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap kemampuan berpikir kritis dan kolaborasi siswa.

Peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa terjadi karena pembelajaran STEM menuntut siswa untuk menganalisis, mengevaluasi, dan mengaplikasikan konsep ilmiah dalam konteks nyata. Setiap tahapan proyek (identifikasi masalah, perencanaan solusi, desain, uji coba, dan evaluasi) mendorong siswa untuk menggunakan penalaran logis dan berpikir reflektif. Hal ini sesuai dengan penelitian Quigley et al. (2020) yang menemukan bahwa pendekatan STEM mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa secara signifikan dibandingkan pembelajaran konvensional.

Selain itu, pembelajaran berbasis STEM juga terbukti memperkuat kemampuan kolaborasi. Siswa bekerja dalam kelompok untuk menyelesaikan proyek yang kompleks, sehingga mereka harus berbagi peran, mengomunikasikan ide, dan mencapai kesepakatan bersama. Pengalaman belajar seperti ini menumbuhkan sikap tanggung jawab, empati, dan saling menghargai. Putri & Qosyim (2021) menegaskan bahwa pembelajaran yang mendorong kerja sama aktif antarsiswa dapat meningkatkan rasa memiliki terhadap tugas kelompok dan membangun hubungan sosial yang positif.

Korelasi yang sangat kuat antara pembelajaran STEM dan kemampuan kolaborasi ($r = 0,980$) menunjukkan bahwa pendekatan ini bukan hanya meningkatkan aspek kognitif, tetapi juga aspek sosial dan afektif siswa. Artinya, pembelajaran berbasis STEM berperan ganda, yakni memperkuat kemampuan berpikir tingkat tinggi (HOTS) sekaligus mengembangkan karakter gotong royong sebagai bagian dari *Profil Pelajar Pancasila*.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini konsisten dengan temuan Rahmawati (2019) dan Kim et al. (2022) yang menyatakan bahwa integrasi STEM dalam pembelajaran mampu menciptakan suasana belajar kolaboratif, menumbuhkan rasa tanggung jawab, serta memperkuat kemampuan berpikir kritis dan kreatif siswa.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan model pembelajaran berbasis STEM efektif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran di sekolah menengah, baik dari segi hasil akademik maupun pengembangan karakter.

3.5 Implikasi Penelitian

Berdasarkan hasil dan pembahasan, implikasi penelitian ini meliputi:

1. Bagi guru, penerapan STEM dapat menjadi alternatif inovatif untuk menciptakan pembelajaran aktif dan bermakna, sekaligus meningkatkan keterampilan berpikir kritis serta kolaborasi siswa.
2. Bagi sekolah, hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar dalam merancang kurikulum integratif yang menggabungkan unsur sains, teknologi, teknik, dan matematika untuk mendukung program *Profil Pelajar Pancasila*.
3. Bagi peneliti selanjutnya, hasil ini membuka peluang untuk meneliti variabel lain seperti kreativitas, komunikasi, atau kemampuan pemecahan masalah dalam konteks pembelajaran berbasis STEM.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data, dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pembelajaran berbasis STEM berpengaruh signifikan terhadap kemampuan berpikir kritis siswa.

Hasil analisis *paired sample t-test* menunjukkan nilai Sig. = 0,000 < 0,05, yang berarti terdapat peningkatan kemampuan berpikir kritis secara signifikan setelah penerapan pembelajaran STEM. Nilai rata-rata pretest sebesar 61,79 meningkat menjadi 85,57 pada posttest dengan skor *N-Gain* sebesar 0,62 (kategori sedang–tinggi). Hal ini menunjukkan bahwa penerapan STEM mampu mendorong siswa untuk berpikir logis, analitis, dan reflektif dalam menyelesaikan permasalahan berbasis proyek.

2. Pembelajaran berbasis STEM berpengaruh signifikan terhadap kemampuan kolaborasi siswa.

Hasil observasi menunjukkan peningkatan rata-rata skor kolaborasi dari kategori “baik” menjadi “sangat baik”. Indikator komunikasi, partisipasi, dan tanggung jawab kelompok mengalami peningkatan yang konsisten. Uji korelasi *Pearson Product Moment* menghasilkan nilai $r = 0,980$ dengan Sig. = 0,000, yang menandakan hubungan sangat kuat antara pembelajaran STEM dan kemampuan kolaborasi siswa. Artinya, semakin baik implementasi STEM, semakin tinggi pula kemampuan siswa untuk bekerja sama secara efektif.

3. Pembelajaran berbasis STEM berpengaruh secara simultan terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kolaborasi siswa. Model pembelajaran ini mendorong keterlibatan aktif siswa dalam seluruh tahapan kegiatan proyek, mulai dari perencanaan hingga evaluasi. Aktivitas tersebut menuntut siswa untuk berpikir tingkat tinggi sekaligus berinteraksi dan berkoordinasi dalam tim. Dengan demikian, pembelajaran berbasis STEM dapat dikatakan efektif untuk mengembangkan kompetensi kognitif dan sosial secara bersamaan.

Secara umum, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis STEM merupakan strategi pembelajaran yang komprehensif dan relevan dengan tuntutan pendidikan abad ke-21, karena mampu mengintegrasikan pengetahuan konseptual, keterampilan berpikir kritis, serta kemampuan bekerja sama dalam konteks nyata.

4.2 Saran

1. Bagi Guru

Guru diharapkan dapat menerapkan pembelajaran berbasis STEM secara konsisten pada berbagai mata pelajaran, khususnya yang berorientasi pada proyek. Dalam implementasinya, guru perlu memfasilitasi siswa agar dapat mengaitkan konsep teoritis dengan penerapan praktis melalui kegiatan eksploratif, kolaboratif, dan reflektif. Guru juga perlu mengoptimalkan penggunaan media dan teknologi digital untuk menunjang kegiatan STEM di kelas.

2. Bagi Sekolah

Sekolah disarankan untuk memberikan dukungan dalam bentuk penyediaan sarana dan prasarana yang menunjang kegiatan pembelajaran berbasis STEM, seperti laboratorium komputer, perangkat digital, dan jaringan internet yang memadai. Selain itu, pelatihan bagi guru mengenai perancangan dan pelaksanaan pembelajaran STEM perlu dilakukan agar pendekatan ini dapat diimplementasikan secara berkelanjutan di berbagai mata pelajaran.

3. Bagi Siswa

Siswa diharapkan aktif berpartisipasi dalam kegiatan kelompok, terbuka terhadap ide teman, serta berani mengemukakan pendapat dengan dasar pemikiran logis. Sikap kerja sama dan komunikasi yang baik akan memperkuat proses berpikir kritis sekaligus meningkatkan hasil belajar.

4. Bagi Peneliti Selanjutnya

Penelitian ini terbatas pada dua variabel dependen, yaitu kemampuan berpikir kritis dan kolaborasi. Peneliti berikutnya disarankan untuk mengembangkan penelitian dengan menambahkan variabel lain seperti kreativitas, komunikasi, atau pemecahan masalah, serta melibatkan lebih dari satu sekolah agar hasilnya lebih general dan komprehensif.

Selain itu, pendekatan penelitian campuran (*mixed method*) dapat digunakan untuk menggali aspek kualitatif dalam penerapan pembelajaran STEM.

4.3 Implikasi Penelitian

Hasil penelitian ini memperkuat bukti empiris bahwa pendekatan pembelajaran berbasis STEM mampu meningkatkan kualitas proses dan hasil belajar siswa. Dengan demikian, model ini layak dijadikan strategi pembelajaran inovatif di sekolah menengah dalam upaya mewujudkan *Profil Pelajar Pancasila*, khususnya pada dimensi bernalar kritis, kreatif, dan bergotong royong. Integrasi STEM dalam pembelajaran informatika dapat menjadi sarana efektif untuk menyiapkan generasi pelajar yang adaptif, solutif, dan berdaya saing di era digital.

DAFTAR PUSTAKA

- Zaqiah, Q. Y., Hasanah, A., & Heryati, Y. (2024). The role of STEM education in improving student collaboration and critical thinking skills. *Journal of Education and Learning*, 10(1), 103-110. Retrieved from <https://journal.uinsgd.ac.id/index.php/jpi/article/view/35207>
- Argyle House School. (2024, November 5). Why STEM education is crucial for today's students. Retrieved from <https://www.argylehouseschool.co.uk/blog/?nid=3&pid=30>
- Digital Media Academy. (2024, February 2). The benefits of STEM education: Why it's essential for today's students. Retrieved from <https://edu.soundtrap.com/why-STEM-education-is-essential-to-modern-schooling/>
- Pennsylvania Leadership Charter School (PALCS). (2024). What is STEM education? Retrieved from <https://www.palcs.org>
- Arduino Education. (2024). 8 benefits of STEM education. Retrieved from <https://www.arduino.cc>
- Space Foundation. (2023, October 5). The role of critical thinking in STEM. Retrieved from <https://www.spacefoundation.org/2023/10/05/critical-thinking-STEM/>
- ResearchGate. (2023). STEM education: A pathway to enhance critical thinking in dynamic classrooms. Retrieved from <https://www.researchgate.net>
- Yuliati, Q. (2024). *The Role of STEM Education in Improving Student Collaboration and Creativity: A Case Study in Madrasah*. Journal of STEM Research.
- Aryani, N. (2024). *Higher Order Thinking Skill (HOTS) through STEM Learning for Early Childhood*. STEM Journal for Early Childhood Education.
- Spyropoulou, N. (2024). *Augmenting the Impact of STEM Education by Developing a Competence Framework for STEM Educators for Effective Teaching and Learning*. International STEM Studies.
- Mejias, S. (2020). *The Trouble with STEM and Why We Use It Anyway*. Critical STEM Education Review.
- Quigley, C. F. (2024). *Developing a Conceptual Model of STEM Teaching Practices*. STEM Education Development Journal.

