



Implementasi STEM-EDP untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Melalui Proyek Konstruksi Jembatan Sederhana

Rudi Hartono

Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Dua Koto, Sumatera Barat, Indonesia

Correspondence Email: rudihartonofisika@gmail.com

Article Info

Received: March 22, 2026

Accepted: June 01, 2026

Published: July 30, 2026

Keywords

Critical Thinking Skills;
Engineering Design Process;
Force;
Junior High School Students;
STEM-EDP.

Abstract

This study aims to analyze the effect of implementing STEM learning based on the Engineering Design Process (STEM-EDP) on junior high school students' critical thinking skills regarding the topic of force. This study used a quasi-experimental, nonequivalent control-group design. The study included 57 students from two classes: the experimental class ($n = 29$) received STEM-EDP learning, and the control class ($n = 28$) received conventional learning. The research instrument was a critical thinking skills test developed based on four indicators: interpretation, analysis, evaluation, and inference. The research data were analyzed using prerequisite tests in the form of normality tests and homogeneity tests, followed by hypothesis testing using independent t-tests and N-Gain analysis to see the improvement of students' critical thinking skills. The study found that implementing STEM-EDP learning significantly improved students' critical thinking skills. The independent t-test showed a significant difference between the experimental and control classes ($p < 0.001$). The N-Gain analysis also showed that the increase in critical thinking skills in the experimental class was higher than in the control class for each measured indicator. STEM-EDP learning provides opportunities for students to be actively involved in the design process, prototyping, testing, evaluation, and design improvement, thus encouraging students to conduct analysis, reflection, and rational decision-making. Thus, STEM learning based on the Engineering Design Process can be an effective alternative learning strategy in developing students' critical thinking skills in science learning at the junior high school level.

Kata Kunci	Abstrak
Keterampilan Berpikir Kritis; Proses Perancangan Rekayasa; Gaya; Siswa Sekolah Menengah Pertama; STEM-EDP.	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan pembelajaran STEM berbasis Engineering Design Process (STEM-EDP) terhadap keterampilan berpikir kritis siswa SMP pada materi gaya. Penelitian ini menggunakan desain quasi-experimental dengan model nonequivalent control group design. Subjek penelitian terdiri 57 orang siswa yang teridir dari dua kelas, yaitu kelas eksperimen ($n = 29$ siswa) yang mendapatkan pembelajaran STEM-EDP dan kelas kontrol ($n = 28$ siswa) yang memperoleh pembelajaran konvensional. Instrumen penelitian berupa tes keterampilan berpikir kritis yang dikembangkan berdasarkan beberapa indikator, yaitu interpretasi, analisis, evaluasi, dan inferensi. Data penelitian dianalisis menggunakan uji prasyarat berupa uji normalitas dan uji homogenitas, dilanjutkan dengan uji hipotesis menggunakan uji t independen serta analisis N-Gain untuk melihat peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan pembelajaran STEM-EDP memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa. Hasil uji t independen menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol ($p < 0,001$). Analisis N-Gain juga menunjukkan bahwa peningkatan keterampilan berpikir kritis pada kelas eksperimen berada pada kategori lebih tinggi dibandingkan dengan kelas kontrol pada setiap indikator yang diukur. Pembelajaran STEM-EDP memberikan kesempatan kepada siswa untuk terlibat secara aktif dalam proses perancangan, pembuatan prototipe, pengujian, evaluasi, serta perbaikan desain sehingga mendorong siswa untuk melakukan analisis, refleksi, dan pengambilan keputusan secara rasional. Dengan demikian, pembelajaran STEM berbasis Engineering Design Process dapat menjadi alternatif strategi pembelajaran yang efektif dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa pada pembelajaran IPA di tingkat SMP.

A. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada abad ke-21 telah menggeser orientasi pendidikan dari sekadar penguasaan pengetahuan faktual menuju pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Salah satu keterampilan esensial yang menjadi fokus utama pendidikan modern adalah keterampilan berpikir kritis, karena keterampilan ini memungkinkan siswa menganalisis permasalahan secara mendalam, mengevaluasi bukti dan argumen, serta mengambil keputusan yang rasional dan berbasis penalaran (Facione, 2011; Gómez et al., 2025). Keterampilan berpikir kritis juga dipandang sebagai kemampuan kognitif inti yang mendukung penguasaan kompetensi abad ke-21 lainnya, seperti pemecahan masalah kompleks, kreativitas, dan pengambilan keputusan berbasis data (Dwyer et al., 2014; Thornhill-Miller et al., 2023).

Dalam konteks pembelajaran sains, berpikir kritis berperan penting dalam membantu siswa memunculkan pertanyaan dan masalah yang vital, memahami hubungan sebab akibat, menganalisis dan mengevaluasi informasi, menafsirkan data empiris, berpikiran terbuka serta mengomunikasikan dengan efektif (Forawi, 2016; Nugroho, 2024). Oleh karena itu, penguatan keterampilan berpikir kritis menjadi tujuan strategis dalam pembelajaran sains di berbagai jenjang pendidikan, sekaligus menjadi indikator kualitas pembelajaran yang berorientasi pada literasi sains dan penalaran ilmiah (OECD, 2023).

Meskipun demikian, berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis siswa masih berada pada tingkat yang relatif rendah. Hal ini terutama disebabkan oleh praktik pembelajaran sains yang masih didominasi pendekatan konvensional, berpusat pada guru, dan berorientasi pada penyelesaian soal rutin (Tiruneh et al., 2017; Zohar & Dori, 2003). Pendekatan tersebut umumnya menekankan reproduksi informasi dan prosedur algoritmik, sehingga siswa jarang dilibatkan dalam aktivitas yang menuntut analisis mendalam, evaluasi argumen, dan justifikasi berbasis bukti (Abrami et al., 2015; Tanipu et al., 2026). Akibatnya, siswa cenderung mengalami kesulitan ketika dihadapkan pada permasalahan non-rutin atau konteks autentik yang memerlukan penerapan konsep secara fleksibel (OECD, 2023). Pola pembelajaran ini membatasi keterlibatan aktif siswa dalam proses penalaran, analisis, dan refleksi, sehingga kesempatan untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis secara optimal menjadi sangat terbatas (Abrami et al., 2015; Tiruneh et al., 2017). Kondisi tersebut menegaskan perlunya pendekatan pembelajaran alternatif yang mampu mengaitkan pengetahuan konseptual dengan pengalaman belajar yang bermakna dan kontekstual, khususnya melalui aktivitas pemecahan masalah dunia nyata (Zohar & Dori, 2003).

Salah satu pendekatan yang banyak direkomendasikan dalam literatur pendidikan sains adalah pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*). Pendekatan STEM menekankan integrasi lintas disiplin dalam menyelesaikan permasalahan dunia nyata, sehingga mendorong siswa untuk mengaplikasikan konsep sains dan matematika melalui praktik teknologi dan rekayasa (AlMuraie et al., 2021; Fan & Yu, 2017; Tsai, 2025). STEM tidak dipandang sebagai pengajaran empat disiplin secara terpisah, melainkan sebagai suatu pendekatan pembelajaran terpadu yang menghubungkan konsep, keterampilan, dan cara berpikir dari keempat bidang tersebut dalam satu konteks pemecahan masalah yang autentik (AlMuraie et al., 2021). Melalui integrasi ini, siswa didorong untuk memahami bagaimana

pengetahuan ilmiah digunakan secara aplikatif dalam pengembangan teknologi dan solusi rekayasa berbasis pertimbangan matematis (Bybee, 2013). Selain itu, pendidikan STEM bertujuan untuk menumbuhkan cara berpikir ilmiah dan rekayasa, seperti berpikir sistemik, analitis, dan berbasis bukti, yang selaras dengan pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi, termasuk berpikir kritis (English, 2016; Kelley & Knowles, 2016).

Sejumlah penelitian melaporkan bahwa pembelajaran berbasis STEM berpotensi meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi siswa. Peningkatan ini terjadi pada kemampuan memecahkan masalah dan berpikir kritis, karena siswa dilibatkan secara aktif dalam proses eksplorasi dan aplikasi pengetahuan (Aini et al., 2025; Ramadannisa et al., 2025; Sapphira & Sari, 2023; Subagiyo et al., 2025; Syukri et al., 2026; Thibaut et al., 2018). Studi meta-analisis Arshad et al. (2021) menunjukkan bahwa integrasi STEM mendorong siswa untuk menganalisis permasalahan kompleks, menghubungkan konsep lintas disiplin, serta mengevaluasi solusi secara reflektif, yang merupakan indikator utama berpikir kritis. Dalam pembelajaran, STEM dapat diimplementasikan dengan berbagai pendekatan, salah satunya dengan mengintegrasikan *Engineering Design Process* (EDP). EDP memiliki peran pedagogis yang sangat penting karena merepresentasikan proses pemecahan masalah yang digunakan oleh insinyur melalui tahapan yang sistematis dan bersifat iteratif, meliputi identifikasi masalah, perumusan ide solusi, perencanaan desain, pembuatan prototipe, pengujian, evaluasi, serta perbaikan desain (English, 2016; Jolly, 2016; Panergayo & Roleda, 2025). Melalui tahapan-tahapan tersebut, siswa dilatih untuk menganalisis kendala, mengevaluasi efektivitas solusi, serta merefleksikan hasil dan proses kerja, yang merupakan komponen utama dalam keterampilan berpikir kritis (Duong et al., 2022; Lin et al., 2021; Susilawati et al., 2026).

Studi yang secara eksplisit mengintegrasikan EDP dalam pembelajaran STEM melaporkan dampak yang lebih kuat terhadap pengembangan berpikir kritis. Safitri et al. (2024) menemukan bahwa penerapan STEM-EDP pada materi pencemaran lingkungan meningkatkan keterampilan berpikir kritis pada kategori tinggi dengan *N-Gain* 0,64. Penelitian Sapphira dan Sari (2023) pada materi getaran juga menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam keterampilan berpikir kritis antara kelas eksperimen dan kontrol (Mann-Whitney *sig.* 0,027). Subagiyo et al. (2025) menemukan pengembangan LKPD berbasis STEM-EDP untuk materi ekologi dan biodiversitas efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis dengan *N-Gain* 0,7 (tinggi).

Peningkatan tersebut terjadi karena STEM-EDP melibatkan prinsip rekayasa, analisis, dan pemikiran sistematis melalui proses desain inovatif yang mendorong siswa untuk berinisiatif serta menganalisis permasalahan nyata (Safitri et al., 2024). Struktur dasar penyelesaian masalah yang sistematis dalam juga menuntun siswa untuk menganalisis situasi, mencari informasi relevan, mendefinisikan masalah, mengembangkan ide solusi, serta mengevaluasi hasil secara iteratif (Sapphira & Sari, 2023; Subagiyo et al., 2025). Dengan demikian, pendekatan EDP dapat meningkatkan kemampuan penalaran, refleksi, dan kesadaran metakognitif siswa (Nugraha et al., 2024; Syukri et al., 2023).

Namun demikian, kajian literatur juga mengungkapkan adanya celah penelitian. Penelitian empiris yang secara khusus mengkaji penerapan STEM-EDP pada topik gaya melalui proyek konstruksi fisik sederhana untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis belum ditemukan. Padahal, proyek konstruksi memiliki karakteristik masalah autentik yang menuntut siswa untuk melakukan analisis, evaluasi, dan pengambilan keputusan berbasis bukti secara intensif. Penelitian-penelitian terdahulu mengkaji pengaruh penerapan STEM-EDP pada topik energi terbarukan (Chairunnisya et al., 2023), polusi lingkungan (Safitri et al., 2024), sistem gerak manusia (Ramli et al., 2024), sistem ekskresi (Rahman, 2022), bioteknologi (Aini et al., 2025), serta ekologi dan keanekaragaman hayati (Subagiyo et al., 2025). Penelitian ini menganalisis penerapan STEM-EDP melalui proyek konstruksi jembatan sederhana pada materi gaya. Proyek ini mengintegrasikan konsep sains, seperti gaya, beban, dan keseimbangan, dengan penalaran matematis serta prinsip-prinsip rekayasa. Melalui kegiatan merancang, membangun, menguji, dan memperbaiki model jembatan, siswa didorong untuk mengidentifikasi masalah struktural, membandingkan alternatif desain, serta mengevaluasi kekuatan dan efisiensi konstruksi berdasarkan kriteria tertentu. Dengan demikian, proyek konstruksi jembatan sederhana berpotensi menjadi sarana yang efektif untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa secara kontekstual dan bermakna. Tahapan STEM-EDP yang diterapkan pada penelitian ini menurut Bamberger & Cahill (2013), meliputi mendefinisikan masalah, mengumpulkan informasi, merencanakan, membangun, melakukan uji coba, mengevaluasi, melakukan desain ulang, dan mengomunikasikan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas implementasi pembelajaran STEM-EDP melalui proyek konstruksi jembatan sederhana dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. Hasil penelitian ini

diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis terhadap pengembangan kajian STEM-EDP dalam pendidikan sains. Selanjutnya dapat berkontribusi praktis bagi guru dalam merancang pembelajaran yang berorientasi pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi sesuai tuntutan abad ke-21.

B. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan model kuasi-eksperimen yang menggunakan *nonequivalent pretest-posttest control group design*. Penelitian kuantitatif melibatkan evaluasi hipotesis objektif melalui analisis hubungan antara variabel yang dapat diukur. Hal ini dicapai dengan menggunakan instrumen untuk mengumpulkan data numerik yang selanjutnya dianalisis menggunakan analisis statistik. Pada penelitian kuasi eksperimen dengan desain *nonequivalent pretest-posttest control group*, penentuan kelompok eksperimen dan kelompok kontrol dilakukan tanpa melalui proses pengacakan (Creswell & Creswell, 2022). Dalam konteks ini, dipilih dua kelompok yaitu kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Kelompok eksperimen menerapkan pembelajaran STEM berbasis EDP (STEM-EDP) sedangkan kelompok kontrol menerapkan pembelajaran konvensional.

Partisipan dalam penelitian ini adalah siswa SMP kelas VII yang belum pernah mempelajari topik Gaya sebelumnya. Penelitian dilaksanakan di SMP Negeri 1 Dua Koto, Kabupaten Pasaman dengan total 57 partisipan berusia 12-14 tahun. Partisipan dipilih menggunakan teknik *convenience sampling*. Menurut Fraenkel et al. (2011) *convenience sampling* adalah metode pengambilan sampel dimana sekelompok individu secara praktis sudah tersedia untuk penelitian. Sampel diambil berdasarkan tempat dan waktu yang tepat. Berdasarkan hal tersebut, partisipan kelas eksperimen menggunakan kelas VII-1 berjumlah 29 siswa yang terdiri dari 13 siswa laki-laki dan 16 siswa perempuan. Partisipan kelas kontrol diambil kelas VII-2 berjumlah 28 siswa yang terdiri dari 12 siswa laki-laki dan 16 siswa perempuan. Distribusi partisipan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi Partisipan

Kelompok	Laki-laki		Perempuan		Jumlah	
	N	%	N	%	N	%
Kelas eksperimen	13	44,8	16	55,2	29	50,9
Kelas kontrol	12	42,9	16	57,1	28	49,1
Total	25	43,9	32	56,1	57	100

Pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan kuesioner. Untuk data keterampilan berpikir kritis digunakan kuesioner yang dikembangkan oleh Marni et al. (2020) yang disesuaikan untuk pembelajaran IPA. Kuesioner ini terdiri dari 25 pertanyaan yang mencakup empat indikator yaitu menafsirkan, menganalisis, mengevaluasi, dan mengambil kesimpulan. Indikator dan jumlah pertanyaan kuesioner keterampilan berpikir kritis dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Indikator dan Jumlah Soal Keterampilan Berpikir Kritis

Indikator	Nomor Soal	Jumlah Soal
Menafsirkan	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	8
Menganalisis	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	8
Mengevaluasi	17, 18, 19	3
Mengambil kesimpulan	20, 21, 22, 23, 24, 25	6
Jumlah		25

Sebelum digunakan, instrumen ini telah melalui penilaian (*expert judgment*) dari dua orang dosen IPA. Tahapan ini berguna untuk memenuhi kriteria sebagai instrumen yang valid. Setelah pelaksanaan *pretest* dan *posttest*, dilakukan uji statistik menggunakan uji t independen untuk menganalisis nilai keterampilan berpikir kritis siswa. Selanjutnya nilai tersebut dikelompokkan berdasarkan kriteria pada Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria Skor Keterampilan Berpikir Kritis

Interval Berpikir Kritis	Kriteria
$X > 88$	Sangat kritis
$56 < X \leq 88$	Kritis
$36 < X \leq 56$	Cukup kritis
$8 < X \leq 36$	Kurang kritis
$X \leq 8$	Tidak kritis

Sumber: (Prayogi & Yuanita, 2018)

Penelitian ini meliputi tiga tahapan utama, yaitu tahap persiapan, tahap pelaksanaan, dan tahap penyelesaian. Pada tahap persiapan, penelitian diawali dengan identifikasi dan perumusan masalah, dilanjutkan dengan studi literatur terkait pendekatan STEM, EDP, dan keterampilan berpikir kritis dalam pembelajaran sains. Setelah itu, penyusunan instrumen, melakukan validasi oleh *expert judgement*, dan merevisi sesuai masukan. Langkah terakhir dari tahap ini adalah menyusun perangkat pembelajaran, yaitu rencana pelaksanaan pembelajaran (RPP), media pembelajaran, dan lembar kerja peserta didik (LKPD). Tahap pelaksanaan dilakukan pada siswa kelas VII SMP selama empat

pertemuan. Sebelum penerapan perlakuan, kedua kelas diberikan *pretest* untuk melihat kemampuan awal siswa. Selanjutnya, pada kelas eksperimen diterapkan pembelajaran STEM dengan EDP (STEM-EDP) sedangkan pada kelas kontrol menerapkan pembelajaran konvensional. Rincian tahapan kegiatan pembelajaran STEM-EDP pada kelas eksperimen menurut Bamberger & Cahill (2013) yang dirangkum dalam Tabel 4.

Tabel 4. Kegiatan Pembelajaran pada Kelas Eksperimen STEM-EDP

Tahapan	Aktivitas
Mendefinisikan masalah	Siswa melakukan identifikasi permasalahan yang menjadi fokus desain, merumuskan tujuan perancangan, serta menetapkan kriteria keberhasilan.
Mengumpulkan informasi	Siswa mengidentifikasi kendala dan pengguna desain, menelaah desain yang telah ada, mengembangkan alternatif desain secara kolaboratif, serta mengevaluasi kelebihan dan kekurangan setiap alternatif.
Merencanakan	Siswa memilih desain terbaik dan menyusun <i>storyboard</i> (papan cerita) yang memuat diagram berlabel, deskripsi desain, serta penjelasan alasan desain tersebut diperkirakan berhasil.
Membangun	Siswa membangun prototipe tiga dimensi sesuai dengan rencana yang telah disusun serta merefleksikan kendala yang dihadapi dan penyesuaian rencana yang dilakukan selama proses pembuatan.
Melakukan uji coba	Siswa menguji prototipe secara terbuka melalui pengujian terukur terhadap kondisi alam dengan tujuan mencapai tantangan desain, tanpa adanya persaingan antar kelompok.
Mengevaluasi	Siswa mencatat dan merefleksikan ketercapaian kriteria keberhasilan desain, mengevaluasi aspek yang telah berfungsi dengan baik, serta mengidentifikasi dan menjelaskan upaya perbaikan desain dengan mengumpulkan informasi tambahan apabila diperlukan.
Mendesain ulang	Siswa menyusun papan cerita baru untuk menunjukkan perubahan desain dan alasan perubahan tersebut diperkirakan dapat meningkatkan ketercapaian kriteria keberhasilan; setelah desain ulang memperoleh persetujuan guru, siswa diizinkan kembali ke tahap membangun.
Mengomunikasikan	Siswa mempresentasikan karya dalam sesi pleno kelas dengan memaparkan proses desain, dasar pemilihan desain, hasil pengujian, upaya perbaikan pascapengujian, kekuatan dan kelemahan desain, serta pembelajaran yang diperoleh dari desain kelompok lain.

Sumber: Bamberger & Cahill (2013)

Tahapan terakhir dalam penelitian ini adalah tahap penyelesaian. Pada tahap ini dilakukan analisis data menggunakan metode statistik untuk memperoleh hasil penelitian. Hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar dalam penarikan kesimpulan penelitian. Selanjutnya, kesimpulan yang diperoleh disusun dan disajikan dalam bentuk karya tulis ilmiah.

C. Hasil dan Pembahasan

Bagian hasil dan pembahasan disajikan untuk menggambarkan secara komprehensif temuan empiris terkait pengaruh penerapan pembelajaran STEM-EDP terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Penyajian diawali dengan paparan data kuantitatif hasil *pretest* dan *posttest* yang dianalisis menggunakan uji statistik yang relevan, kemudian dilanjutkan dengan interpretasi hasil yang mengacu pada indikator keterampilan berpikir kritis. Selanjutnya, temuan tersebut dibahas secara mendalam dengan mengaitkannya pada kerangka teoretis serta hasil penelitian terdahulu yang relevan.

1. Hasil

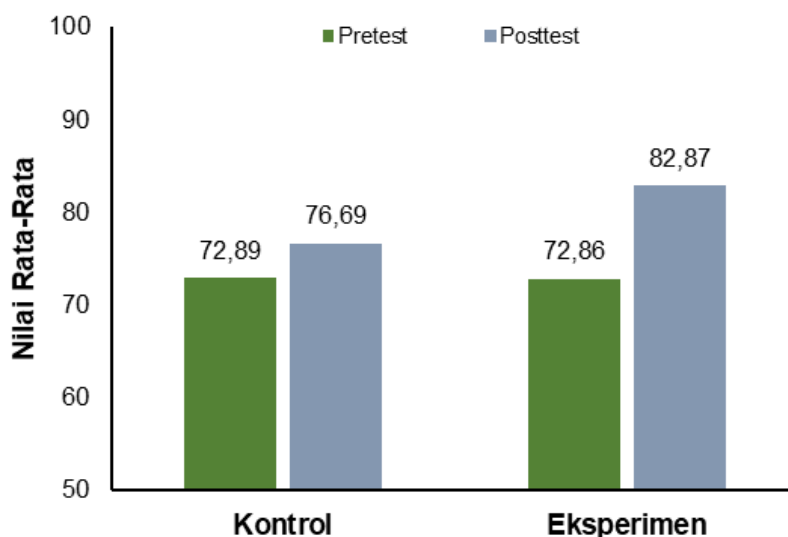
Keterampilan berpikir kritis siswa diukur menggunakan sebanyak dua kali di kelas kontrol dan eksperimen. Tes pertama diberikan sebelum melaksanakan perlakuan, disebut *pretest*, dan kedua setelah melaksanakan perlakuan, disebut *posttest*.

Indikator keterampilan berpikir kritis yang digunakan dalam penelitian ini diadopsi dari Marni et al. (2020) yaitu menafsirkan, menganalisis, mengevaluasi, dan mengambil kesimpulan. Indikator tersebut kemudian dikembangkan menjadi 25 pertanyaan kuesioner menggunakan skala likert. Kuesioner tersebut digunakan untuk mengambil data keterampilan berpikir kritis siswa pada kelas eksperimen dan kontrol. Data hasil *pretest* dan *posttest* keterampilan berpikir kritis siswa kemudian dianalisis menggunakan SPSS versi 27 dengan rangkuman nilai dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rangkuman Nilai Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

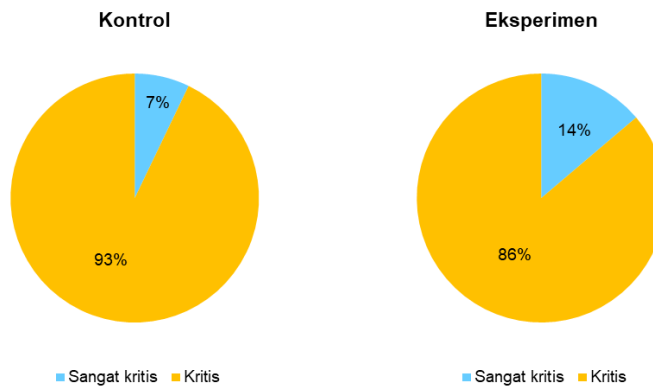
Kelompok	Tes	N	Rata-Rata	SD
Kelas kontrol	<i>Pretest</i>	28	72,89	6,91
	<i>Posttest</i>	28	76,69	6,61
Kelas eksperimen	<i>Pretest</i>	29	72,86	11,05
	<i>Posttest</i>	29	82,87	5,64

Pada kelas kontrol, nilai rata-rata *pretest* adalah 72,89 (SD 6,91) dengan kategori kritis dan nilai rata-rata *posttest* adalah 76,69 (SD 6,61) dengan kategori kritis berdasarkan kategori berpikir kritis dalam Prayogi & Yuanita (2018). Sementara itu pada kelas eksperimen, nilai rata-rata *pretest* adalah 72,86 (SD 11,05) dengan kategori kritis dan nilai rata-rata *posttest* adalah 82,87 (SD 5,64) dengan kategori kritis. Nilai rata-rata sebelum dan sesudah penerapan perlakuan pada kedua kelas menunjukkan tren peningkatan. Temuan ini selanjutnya dijelaskan oleh hasil nilai terendah dan tertinggi yang menunjukkan tren peningkatan yang sama pada kelas eksperimen dan kontrol. Nilai rata-rata keterampilan berpikir kritis siswa saat *pretest* dan *posttest* pada kedua kelas disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Nilai Rata-Rata Keterampilan Berpikir Kritis

Gambar 1 memperkuat hasil penelitian pada Tabel 5 yang menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan nilai rata-rata keterampilan berpikir kritis yang dicapai siswa sebelum dan sesudah mengikuti perlakuan. Dengan demikian, dapat diartikan bahwa penerapan perlakuan dalam pembelajaran efektif untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. Nilai keterampilan berpikir kritis siswa dapat dikelompokkan berdasarkan kriteria berpikir kritis. Pengelompokan nilai keterampilan berpikir kritis siswa ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kategori Nilai Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

Berdasarkan Gambar 2, terlihat perbedaan distribusi kategori keterampilan berpikir kritis antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Pada kelas eksperimen yang menerapkan pembelajaran STEM-EDP, sebagian besar siswa berada pada kategori kritis, yaitu sebanyak 25 siswa (86%), sedangkan 4 siswa (14%) berada pada kategori sangat kritis. Pada kelas kontrol yang menerapkan pembelajaran konvensional, proporsi siswa pada kategori kritis juga lebih dominan, yakni sebanyak 26 siswa (93%), sementara hanya 2 siswa (7%) yang mencapai kategori sangat kritis. Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran STEM-EDP sedikit lebih unggul dalam mendorong siswa mencapai tingkat keterampilan berpikir kritis dibandingkan pembelajaran konvensional.

Untuk mendukung temuan dan interpretasi di atas diperlukan uji normalitas dan uji homogenitas. Kesimpulan yang lebih valid dapat diambil dari sampel atau populasi yang terdistribusi normal dan homogen. Uji normalitas dalam penelitian ini diambil dari Uji Shapiro-Wilk dan uji homogenitas menggunakan Uji Levene. Hasil normalitas ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Uji Normalitas Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

Kelompok	Tes	Uji Normalitas (Shapiro-Wilk)	Interpretasi
Kelas kontrol	<i>Pretest</i>	0,692	Normal
	<i>Posttest</i>	0,570	Normal
Kelas eksperimen	<i>Pretest</i>	<0,001	Tidak normal
	<i>Posttest</i>	0,426	Normal

Berdasarkan Tabel 7 output uji normalitas (uji Shapiro-Wilk) pada kelas kontrol, nilai signifikansi *pretest* sebesar 0,692 dan *posttest* sebesar 0,570. Kedua nilai tersebut lebih besar dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa data *pretest* dan *posttest* pada kelas kontrol berdistribusi normal. Pada kelas eksperimen, nilai signifikansi *pretest* sebesar $< 0,001$, yang berarti lebih kecil dari 0,05. Dengan demikian, data *pretest* pada kelas eksperimen tidak berdistribusi normal. Sementara itu, nilai signifikansi *posttest* sebesar 0,426, yang lebih besar dari 0,05, sehingga data *posttest* pada kelas eksperimen berdistribusi normal. Berikutnya nilai uji homogenitas hasil berpikir kritis siswa yang dirangkum pada Tabel 7.

Tabel 7. Uji Homogenitas Kemampuan Berpikir Kritis Siswa

Tes	Kelas	Uji Homogenitas (Levene test)	Interpretasi
Pretest	Kontrol	0,115	Homogen
	Eksperimen		
Posttest	Kontrol	0,338	Homogen
	Eksperimen		

Berdasarkan Tabel 7, output uji homogenitas (uji Levene) adalah 0,115 untuk hasil *pretest* dan 0,338 untuk hasil *posttest*. Uji homogenitas menunjukkan nilai lebih dari 0,05 yang berarti kelompok data berasal dari populasi yang memiliki varians yang homogen. Selanjutnya, untuk mengetahui seberapa besar kemungkinan adanya perbedaan antar data kelompok, digunakan uji statistik yang sesuai dengan uji prasyarat. Hal ini karena nilai dari satu sampel tidak mengungkapkan informasi apa pun tentang nilai sampel lainnya.

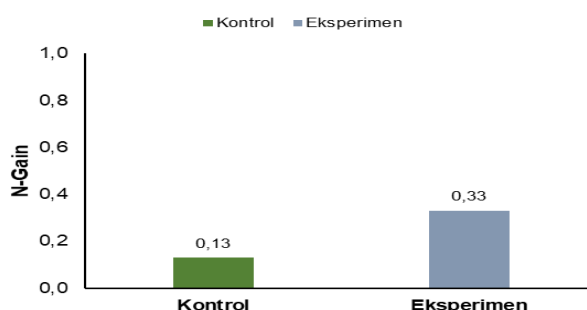
Berdasarkan hasil uji prasyarat yang telah dilakukan, pemilihan teknik analisis statistik disesuaikan dengan karakteristik distribusi data pada masing-masing tahap pengukuran. Pada tahap *pretest*, ditemukan bahwa salah satu kelompok tidak memenuhi asumsi normalitas meskipun varians kedua kelompok homogen. Oleh karena itu, untuk membandingkan kemampuan awal antara kelas kontrol dan kelas eksperimen digunakan uji nonparametrik Mann-Whitney U. Sementara itu, pada tahap *posttest*, kedua kelompok terbukti berdistribusi normal dan memiliki varians yang homogen. Dengan terpenuhinya asumsi normalitas dan homogenitas tersebut, maka analisis perbedaan hasil belajar antara kelas kontrol dan kelas eksperimen dilakukan menggunakan uji t independen. Hasil uji ini dijelaskan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Uji Statistik Kemampuan Berpikir Kritis Siswa

Tes	Kelas	Rata-Rata	Signifikansi (2-tailed)	Interpretasi
Pretest	Kontrol	72,89	0,362	Tidak signifikan
	Eksperimen	72,86		
Posttest	Kontrol	76,69	< 0,001	Signifikan
	Eksperimen	82,87		

Berdasarkan hasil uji statistik pada Tabel 8, pada tahap *pretest* tidak ditemukan perbedaan yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol (*Sig.* 0,362 > 0,05). Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan awal berpikir kritis kedua kelompok relatif setara sebelum perlakuan diberikan. Pada tahap *posttest*, terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua kelas (*Sig.* < 0,001 < 0,05). Rata-rata nilai kelas eksperimen (82,87) lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol (76,69). Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran EDP-STEM melalui proyek konstruksi jembatan sederhana pada materi gaya lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa dibandingkan pembelajaran konvensional.

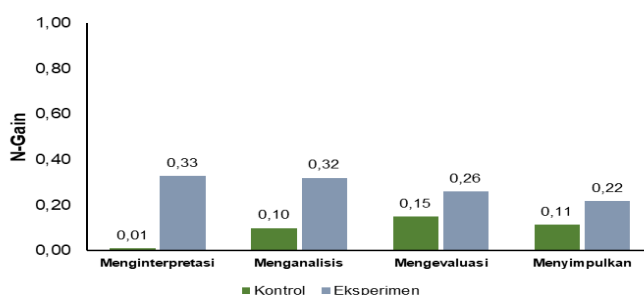
Untuk mengetahui nilai peningkatan pada masing-masing kelompok, dilakukan uji *N-Gain* berdasarkan (Hake, 1998). Nilai *N-Gain* pada kelas kontrol dan eksperimen menunjukkan tren peningkatan seperti ditampilkan pada Gambar 3.

Gambar 3. *N-Gain* Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa nilai rata-rata *N-Gain* pada kelas kontrol sebesar 0,13, sedangkan pada kelas eksperimen sebesar 0,33. Berdasarkan kriteria interpretasi *N-Gain*, nilai 0,13 termasuk dalam kategori rendah, sementara nilai 0,33 berada pada kategori sedang. Perbedaan ini menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa pada kelas yang memperoleh pembelajaran EDP-

STEM lebih tinggi dibandingkan kelas yang mengikuti pembelajaran konvensional. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan pembelajaran EDP-STEM lebih efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dibandingkan pembelajaran konvensional, meskipun tingkat peningkatannya masih berada pada kategori sedang.

Untuk mengetahui pengaruh lebih lanjut, *N-Gain* masing-masing indikator keterampilan berpikir kritis juga dapat ditentukan dengan prosedur yang sama. Indikator keterampilan berpikir kritis yang dibahas dalam penelitian ini adalah menginterpretasi, menganalisis, mengevaluasi, dan menyimpulkan. *N-Gain* keterampilan berpikir kritis siswa pada masing-masing indikator ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *N-Gain* Masing-Masing Indikator Keterampilan Berpikir Kritis

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa kelas eksperimen memperoleh nilai yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol pada seluruh indikator. Pada indikator menginterpretasi, kelas eksperimen mencapai *N-Gain* sebesar 0,33 (kategori sedang), sedangkan kelas kontrol hanya 0,01 (kategori rendah). Pada indikator menganalisis, kelas eksperimen memperoleh 0,32 (sedang) dan kelas kontrol 0,10 (rendah). Pada indikator mengevaluasi, kelas eksperimen mencapai 0,26 (rendah menuju sedang), sementara kelas kontrol 0,15 (rendah). Adapun pada indikator menyimpulkan, kelas eksperimen memperoleh 0,22 (rendah), sedangkan kelas kontrol 0,11 (rendah). Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan keterampilan berpikir kritis pada kelas yang menerapkan pembelajaran EDP-STEM terjadi secara lebih merata di seluruh indikator, dengan peningkatan paling menonjol pada aspek menginterpretasi dan menganalisis, dibandingkan dengan pembelajaran konvensional yang menunjukkan peningkatan relatif rendah pada semua indikator.

2. Pembahasan

Pada penelitian ini, pendekatan STEM pada materi gaya melalui proyek konstruksi jembatan sederhana mengintegrasikan empat disiplin secara lintas bidang untuk memecahkan masalah autentik. Integrasi STEM dalam kegiatan membuat konstruksi jembatan sederhana disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Pengintegrasian STEM pada Pembuatan Konstruksi Jembatan

Pendekatan	Penjelasan
<i>Science</i> (S)	Mengidentifikasi penerapan konsep gaya, beban, dan keseimbangan pada konstruksi jembatan.
<i>Technology</i> (T)	Menemukan informasi dari internet, memutuskan bahan dan alat, dan menguji kinerja konstruksi jembatan.
<i>Engineering</i> (E)	Membuat desain konstruksi jembatan sederhana yang efektif dan ekonomis.
<i>Mathematics</i> (M)	Menghitung dimensi jembatan dan gaya beban maksimal.

Tabel 9 menunjukkan pengintegrasian STEM dalam pembuatan konstruksi jembatan. Pendekatan *Science* (S) berfokus pada identifikasi penerapan konsep gaya, beban, dan keseimbangan dalam konstruksi jembatan. Pendekatan *Technology* (T) bertujuan untuk menemukan informasi dari internet, menentukan bahan dan alat yang tepat, serta menguji kinerja konstruksi jembatan. Pendekatan *Engineering* (E) berperan dalam pembuatan desain konstruksi jembatan yang sederhana, efektif, dan ekonomis. Terakhir, pendekatan *Mathematics* (M) digunakan untuk menghitung dimensi jembatan dan gaya beban maksimal yang dapat diterima oleh jembatan tersebut. Keempat pendekatan ini saling terkait untuk menghasilkan konstruksi jembatan yang aman dan efisien. Dengan menggabungkan ilmu pengetahuan dari berbagai disiplin, proses perancangan dan pembuatan jembatan dapat dilakukan secara lebih sistematis dan terstruktur. Selain itu, penerapan STEM dalam konstruksi jembatan tidak hanya meningkatkan kualitas hasil akhir, tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan dan efisiensi sumber daya yang digunakan dalam setiap tahapan pembangunan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan pembelajaran STEM-EDP melalui proyek konstruksi jembatan sederhana pada materi gaya secara signifikan meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa kelas VII SMP, dengan rata-rata *posttest* kelas eksperimen mencapai 82,87 (SD = 5,64) yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol 76,69 (SD = 6,61), dan nilai signifikansi uji t independen sebesar 0,001 ($p < 0,05$). Peningkatan ini didukung oleh nilai *N-Gain* sebesar 0,33 (kategori sedang)

pada kelas eksperimen, dibandingkan 0,13 (rendah) pada kelas kontrol, yang menandakan efektivitas model STEM-EDP dalam mendorong kemajuan keterampilan berpikir kritis secara merata pada indikator menafsirkan ($N\text{-Gain} = 0,33$), menganalisis (0,32), mengevaluasi (0,26), dan menyimpulkan (0,22). Temuan ini konsisten dengan kondisi awal kedua kelas yang setara, sehingga perbedaan pasca-perlakuan dapat diatribusikan langsung pada intervensi STEM-EDP.

Temuan ini sejalan dengan penelitian-penelitian terdahulu yang menegaskan superioritas pendekatan STEM-EDP terhadap pembelajaran konvensional dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa SMP. Sapphira dan Sari (2023) melaporkan perbedaan signifikan pada keterampilan berpikir kritis siswa kelas VII SMP melalui EDP-STEM pada materi getaran ($\text{sig. Mann-Whitney} = 0,027$). Demikian pula, Subagiyo et al. (2025) menemukan $N\text{-Gain}$ tinggi (0,7) pada pengembangan LKPD berbasis STEM-EDP untuk materi ekologi, yang mendukung peningkatan sedang hingga tinggi pada kelas eksperimen. Studi Safitri et al. (2024) juga menunjukkan $N\text{-Gain}$ 0,64 pada kategori tinggi melalui STEM-EDP pada pencemaran lingkungan, memperkuat bahwa integrasi EDP dalam STEM efektif untuk siswa SMP di Indonesia.

Tahapan mendefinisikan masalah dan mengumpulkan informasi dalam STEM-EDP mendorong siswa kelas eksperimen untuk secara kritis mengidentifikasi kendala struktural jembatan dan menelaah desain-desain jembatan, yang meningkatkan indikator menafsirkan dan menganalisis lebih tinggi dibandingkan kelas konvensional yang hanya menerima penjelasan guru. Berbeda dengan pembelajaran konvensional yang berfokus pada memahami konsep gaya secara pasif, tahapan ini menuntut siswa menganalisis data empiris dan argumen alternatif secara aktif (Sapphira & Sari, 2023). Tahapan ini juga melatih siswa dalam menginterpretasikan fenomena, memverifikasi informasi, serta mengevaluasi argumen dan bukti (Subagiyo et al., 2025). Hal ini terlihat dari peningkatan $N\text{-Gain}$ indikator menginterpretasi (0,33 vs. 0,01) dan menganalisis (0,32 vs. 0,10). Temuan ini selaras dengan temuan Lin et al. (2021) yang menyatakan bahwa struktur iteratif EDP melatih penalaran berbasis bukti, menghasilkan keterampilan kritis lebih unggul daripada model *teacher-centered*.

Pada tahapan merencanakan dan membangun prototipe, siswa menerapkan prinsip rekayasa untuk menyusun *storyboard* dan konstruksi jembatan. Kegiatan ini memfasilitasi evaluasi desain berbasis kriteria kekuatan dan efisiensi, suatu proses yang tidak ditemukan pada pembelajaran konvensional. Dalam pendekatan berbasis

rekayasa, siswa didorong untuk mengembangkan solusi melalui proses perancangan, pengujian, dan perbaikan secara berulang sehingga melatih kemampuan penalaran dan pengambilan keputusan berbasis bukti (English, 2016). Aktivitas tersebut berkontribusi pada peningkatan indikator mengevaluasi, yang ditunjukkan oleh nilai *N-Gain* sebesar 0,26 pada kelas eksperimen dibandingkan 0,15 pada kelas kontrol. Peningkatan ini terjadi karena siswa harus membandingkan berbagai alternatif desain serta merefleksikan kendala yang muncul selama proses konstruksi. Keterlibatan siswa dalam pembuatan prototipe fisik dapat meningkatkan kemampuan evaluasi dan pemecahan masalah melalui proses pengujian empiris dan refleksi terhadap hasil desain (Kelley & Knowles, 2016).

Distribusi skor *posttest* pada kelas eksperimen menunjukkan bahwa 86% siswa mencapai kategori kritis, dibandingkan dengan kelas kontrol sebesar 93% dengan proporsi sangat kritis yang lebih rendah (14% berbanding 7%). Hal ini mengindikasikan bahwa proses rekayasa memberikan ruang yang lebih luas bagi siswa untuk melakukan refleksi mendalam terhadap solusi yang dikembangkan. Selain itu, peningkatan *N-Gain* pada indikator ini juga berkaitan dengan proses iterasi desain yang berulang. Proses iterasi desain melatih siswa untuk belajar dari kegagalan prototipe melalui kegiatan evaluasi, perbaikan, dan optimalisasi solusi struktural yang dirancang (Crismond & Adams, 2012; Tsai, 2025), sekaligus mengembangkan kemampuan menginterpretasikan bukti empiris sejalan dengan prinsip konstruktivisme yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun melalui proses *trial and error* (Panergayo & Roleda, 2025; Shukri et al., 2025). Kegiatan siswa dalam membuat konstruksi jembatan sederhana ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Siswa Sedang Membuat Konstruksi Jembatan Sederhana

Tahapan melakukan uji coba, mengevaluasi, dan mendesain ulang menjadi kunci diferensiasi, dimana siswa menguji beban jembatan secara empiris, merefleksikan kegagalan, dan merevisi desain. Aktivitas tersebut mendorong indikator menyimpulkan berkembang lebih baik dibandingkan kelas kontrol yang hanya mengerjakan soal rutin. Iterasi ini membangun metakognisi dan pengambilan keputusan rasional, yang tercermin dari nilai *N-Gain* sebesar 0,22 pada kelas eksperimen dan 0,11 pada kelas kontrol. Proses pengujian dan perbaikan desain secara berulang memungkinkan siswa mengaitkan hasil pengamatan dengan konsep gaya yang dipelajari sehingga mereka mampu menarik kesimpulan yang lebih logis dan berbasis bukti. Desain iteratif melatih siswa menghubungkan konsep sains abstrak dengan aplikasi dunia nyata, lebih baik daripada pengajaran pasif (Syukri et al., 2026).

Penggunaan lembar kerja berbasis STEM yang terintegrasi dengan EDP dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa melalui siklus uji coba dan perbaikan desain secara berulang (Fan & Yu, 2017; Kelley & Knowles, 2016). Selain itu, kegiatan desain iteratif diketahui mampu mengembangkan kemampuan refleksi dan penalaran ilmiah siswa karena mereka harus menafsirkan hasil pengujian, mengidentifikasi kelemahan struktur, serta merumuskan solusi perbaikan secara sistematis (Crismond & Adams, 2012; English, 2016). Desain iteratif juga memungkinkan siswa melakukan *trial-error* nyata, mengurangi miskonsepsi, dan membangun kepercayaan diri (Tsai, 2025). Dari hasil revisi desain tersebut dihasilkan konstruksi jembatan yang lebih optimal sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Konstruksi Jembatan Sederhana Buatan Siswa

Tahapan mengomunikasikan hasil melalui presentasi pleno memberikan kesempatan kepada siswa untuk memaparkan proses desain yang telah dilakukan, menjelaskan kekuatan dan kelemahan konstruksi jembatan, serta merefleksikan pembelajaran yang diperoleh dari kelompok lain. Kegiatan ini mendorong terjadinya diskusi ilmiah secara terbuka dan mendorong ide kreatif (Duong et al., 2022), sehingga memperkuat keterampilan berpikir kritis siswa secara lebih holistik dibandingkan dengan pendekatan pembelajaran konvensional. Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran yang melibatkan proses perancangan, pengujian, refleksi, dan komunikasi hasil secara sistematis mampu meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi siswa melalui konteks pembelajaran yang autentik dan bermakna. Integrasi STEM melalui aktivitas desain rekayasa dan presentasi hasil proyek dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, serta penalaran ilmiah siswa (Fan & Yu, 2017; Iskandar & Murziqin, 2024). Pembelajaran berbasis proyek dan desain rekayasa memberikan dampak yang signifikan terhadap perkembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi karena siswa terlibat langsung dalam konteks pemecahan masalah nyata (Li et al., 2020; Thibaut et al., 2018). Dengan demikian, temuan penelitian ini memperkuat bukti empiris bahwa implementasi pembelajaran STEM-EDP secara struktural lebih efektif dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa SMP, khususnya melalui aktivitas desain dan konstruksi jembatan sederhana yang menuntut keterlibatan kognitif secara mendalam.

Meskipun menunjukkan efektivitas yang signifikan, implementasi pembelajaran STEM-EDP dalam penelitian ini masih memiliki sejumlah keterbatasan, terutama terkait dengan kebutuhan waktu yang relatif lebih panjang, kesiapan guru dalam merancang aktivitas berbasis desain, minimnya pengalaman awal siswa, serta ketersediaan sumber daya dan fasilitas pendukung di lingkungan sekolah. Temuan Syukri et al. (2026) juga menunjukkan bahwa kesiapan guru, keterbatasan fasilitas, fleksibilitas jadwal, kebutuhan kolaborasi lintas mata pelajaran, kepadatan kurikulum, serta pengelompokan siswa menjadi tantangan dalam penerapan STEM-EDP. Sejalan dengan itu, Panergayo dan Roleda (2025) mengemukakan bahwa proses EDP yang bersifat multi-tahap memerlukan alokasi waktu yang lebih panjang, berpotensi menimbulkan konflik dengan jadwal pembelajaran lain, serta menuntut kemampuan siswa dalam menyeimbangkan proses iterasi dengan batas waktu yang ditetapkan. Selain itu, keterbatasan akses terhadap bahan dan sumber belajar, minimnya pengalaman awal siswa, kompleksitas tahap perencanaan dan konstruksi, serta tantangan dalam mengaitkan masalah dengan konteks nyata siswa turut menjadi kendala dalam implementasinya.

D. Penutup

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penerapan pembelajaran STEM berbasis *Engineering Design Process* (STEM-EDP) efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa SMP pada materi gaya. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan skor hasil belajar siswa pada kelas eksperimen yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelas kontrol. Hasil uji statistik menggunakan uji t independen menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok ($p < 0,001$). Selain itu, analisis nilai *N-Gain* menunjukkan bahwa peningkatan keterampilan berpikir kritis pada kelas eksperimen berada pada kategori lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol pada setiap indikator, yaitu interpretasi, analisis, evaluasi, dan inferensi. Peningkatan tersebut terjadi melalui tahapan iteratif STEM-EDP pada proyek konstruksi jembatan sederhana, yang secara sistematis melatih interpretasi, analisis, evaluasi, dan inferensi melalui identifikasi masalah, pengujian empiris, refleksi kegagalan, serta perancangan ulang berbasis bukti. Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran yang mengintegrasikan tahapan *Engineering Design Process*, seperti merancang solusi, membuat prototipe, melakukan pengujian, mengevaluasi hasil, dan melakukan perbaikan desain, mampu memfasilitasi keterlibatan kognitif siswa secara lebih mendalam sehingga mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis.

Hasil penelitian ini memberikan implikasi bagi pengembangan praktik pembelajaran sains di tingkat SMP. Pendekatan STEM berbasis *Engineering Design Process* dapat digunakan sebagai alternatif strategi pembelajaran yang mendorong keterlibatan aktif siswa melalui kegiatan pemecahan masalah yang kontekstual dan berbasis proyek. Melalui aktivitas perancangan dan pengujian prototipe, siswa tidak hanya memahami konsep sains secara konseptual, tetapi juga mengembangkan kemampuan analitis dan reflektif dalam mengevaluasi solusi yang dihasilkan. Oleh karena itu, integrasi STEM-EDP dalam pembelajaran IPA berpotensi mendukung pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi serta memperkuat implementasi pembelajaran yang berorientasi pada keterampilan abad ke-21. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi guru dan peneliti dalam mengembangkan model pembelajaran berbasis STEM yang relevan dengan konteks pembelajaran sains di sekolah.

Acknowledgments

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Sekolah, guru-guru, dan siswa SMP Negeri 1 Dua Koto, Kabupaten Pasaman, Sumatera Barat.

Referensi

- Abrami, P. C., Bernard, R. M., Borokhovski, E., Waddington, D. I., Wade, C. A., & Persson, T. (2015). Strategies for teaching students to think critically: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 85(2), 275–314. <https://doi.org/10.3102/0034654314551063>
- Aini, M., Aini, M., Fitrianingrum, A. M., Pamungkas, Z. S., & Rungkat, J. A. (2025). Engineering Design Process (EDP) Learning Model on Learning Outcomes, Critical Thinking and Communication Skills of Science Education Students. *Jurnal Iqra': Kajian Ilmu Pendidikan*, 10(2), 16–37. <https://doi.org/10.25217/ji.v10i2.6258>
- AlMuraie, E. A., Algarni, N. A., & Alahmad, N. S. (2021). Upper-Secondary School Science Teachers' Perceptions of the Integrating Mechanisms and Importance of STEM Education. *Journal of Baltic Science Education*, 20(4), 546–557. <https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.546>
- Arshad, A. M., Halim, L., & Nasri, N. M. (2021). Impact of integrating science and engineering teaching approach on students achievement: A meta analysis. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 10(2), 159–170. <https://doi.org/10.15294/jpii.v10i2.29839>
- Bamberger, Y. M., & Cahill, C. S. (2013). Teaching design in middle-school: Instructors' concerns and scaffolding strategies. *Journal of Science Education and Technology*, 22(2), 171–185. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9384-x>
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.
- Chairunnisya, S., Distrik, I. W., Herlina, K., Rosidin, U., & Rabbani, G. F. (2023). Engineering design process (EDP) strategy integrated PjBL-STEM in learning program: Need analysis to stimulate numeracy literacy skills on renewable energy topic. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(12), 11197–11206. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i12.6088>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2022). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. SAGE Publications, Inc.
- Crismond, D. P., & Adams, R. S. (2012). The informed design teaching and learning matrix. *Journal of Engineering Education*, 101(4), 738–797. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2012.tb01127.x>
- Duong, X. Q., Nguyen, N. H., Nguyen, M. T., & Thao-Do, T. P. (2022). Applying stem engineering design process through designing and making of electrostatic painting equipment in two rural schools in Vietnam. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.15294/jpii.v11i1.31004>

- Dwyer, C. P., Hogan, M. J., & Stewart, I. (2014). An integrated critical thinking framework for the 21st century. *Thinking Skills and Creativity*, 12, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.12.004>
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Facione, P. A. (2011). Critical thinking: What it is and why it counts. *Insight Assessment*, 1(1), 1–23. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:154805251>
- Fan, S.-C., & Yu, K.-C. (2017). How an integrative STEM curriculum can benefit students in engineering design practices. *International Journal of Technology and Design Education*, 27(1), 107–129. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9328-x>
- Forawi, S. A. (2016). Standard-based science education and critical thinking. *Thinking Skills and Creativity*, 20, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.12.004>
- Fraenkel, J., Wallen, N., & Hyun, H. (2011). *How to Design and Evaluate Research in Education* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Gómez, D. L. J., Álvarez Maestre, A. J., Parada Trujillo, A. E., Pérez Fuentes, C. A., Bedoya Ortiz, D. H., & Sanabria Alarcón, R. K. (2025). Determining Factors for the Development of Critical Thinking in Higher Education. *Journal of Intelligence*, 13(6), 59. <https://doi.org/10.3390/jintelligence13060059>
- 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>
- Iskandar, I., & Murziqin, R. (2024). Upaya Meningkatkan Minat dan Hasil Belajar Sejarah Kebudayaan Islam Melalui Penerapan Student Teams Achievement Divisions (STAD). *Jurnal Nispatti*, 9(2), 89–112. <https://doi.org/10.26811/nispatti.v9i2.210>
- Jolly, A. (2016). *STEM by design: Strategies and activities for grades 4-8*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315679976>
- 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>
- 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>
- Lin, K.-Y., Wu, Y.-T., Hsu, Y.-T., & Williams, P. J. (2021). Effects of infusing the engineering design process into STEM project-based learning to develop

- preservice technology teachers' engineering design thinking. *International Journal of STEM Education*, 8, 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00258-9>
- Marni, S., Alman, M., & Harsiaty, T. (2020). Students' critical thinking skills based on gender and knowledge group. *Journal of Turkish Science Education*, 17(4), 544–560. <https://doi.org/10.36681/tused.2020.44>
- Nugraha, M. G., Kidman, G., & Tan, H. (2024). Interdisciplinary STEM education foundational concepts: Implementation for knowledge creation. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(10), em2523. <https://doi.org/10.29333/ejmste/15471>
- Nugroho, E. (2024). Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Kelas VII Melalui Media Monotangray Produk Ecoenzyme. *Jurnal Didaktika Pendidikan Dasar*, 8(2), 607–630. <https://doi.org/10.26811/didaktika.v8i2.953>
- OECD. (2023). *PISA 2022 Results (Volume I): The State of Learning and Equity in Education*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
- Panergayo, A. A. E., & Roleda, L. S. (2025). Effects of Engineering Design-Based STEM Approach on Students' Conceptual Understanding, Engineering Design Performance, and Scientific Creativity. *Journal of Baltic Science Education*, 24(6), 1208–1220. <https://doi.org/10.33225/jbse/25.24.1208>
- Prayogi, S., & Yuanita, L. (2018). Critical Inquiry Based Learning: A Model of Learning to Promote Critical Thinking among Prospective Teachers of Physic. *Journal of Turkish Science Education*, 15(1), 43–56. <https://doi.org/10.12973/tused.10220a>
- Rahman, A. A. (2022). Integrasi computational thinking dalam model EDP-STEM untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa SMP. *Jurnal Didaktika Pendidikan Dasar*, 6(2), 575–590. <https://doi.org/10.26811/didaktika.v6i2.409>
- Ramadannisa, R. F., Amelia, N. C., Rulifiangga, F., Widayani, W., & Triyanta, T. (2025). Development of a STEM-Based Circular Motion Module Integrated with the Engineering Design Process. *Current STEAM and Education Research*, 3(2), 53–62. <https://doi.org/10.58797/cser.030201>
- Ramli, M., Sholikhah, S. M. F., Ariani, S. R. D., & Zahro, A. S. (2024). Working as scientist and engineer: A strategy for empowering critical thinking skills through the stem-EDP learning design. *IJIS Edu: Indonesian Journal of Integrated Science Education*, 6(2), 210–218. <https://dx.doi.org/10.29300/ijisedu.v6i2.4435>
- Safitri, W., Suyanto, S., & Prasetya, W. A. (2024). The Influence of the STEM-Based Engineering Design Process Model on High School Students' Creative and Critical Thinking Abilities. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(2), 662–673. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i2.4765>
- Sapphira, A. P. V., & Sari, M. W. (2023). Pengaruh Model Pembelajaran Engineering

Design Process (EDP) Berbasis STEM terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMP. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 13(2), 244–251. <https://doi.org/10.20961/inkuri.v13i2.78369>

Shukri, A. A. M., Ahmad, N. J., & Ramly, S. N. F. (2025). The Engagement of Jahai Indigenous Pupils in Integrated STEM-EDP Learning through the Kombucha Tea Fermentation. *Asia Pacific Journal of Educators and Education*, 40(3), 485–516. <https://doi.org/10.21315/apjee2025.40.3.19>

Subagiyo, L., Lumowa, S. V. T., Tindangen, M., Hudiyono, Y., & Rambitan, V. M. M. (2025). Development of STEM-EDP-Based Student Worksheets to Improve Students' Critical Thinking Skills at SMP Negeri 17 Samarinda. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(6), 184–190. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i6.11171>

Syukri, M., Haya, F., Maghfirah, S., Herliana, F., Rasul, M. S., & Pratama, H. (2026). STEM-Based Engineering Design Process Models in Physics Learning: Systematic Literature Review. *European Journal of STEM Education*, 11(1), 4. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/17784>

Syukri, M., Herliana, F., Maryono, M., Ngadimin, N., & Artika, W. (2023). Development of physics worksheet based on stem integrating engineering design process (EDP) through guided inquiry model to improve students' critical thinking. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 9(2), 225–236. <https://doi.org/10.21009/1.09205>

Susilawati, S., Supriyatno, T., Yasin, A. F., Tasir, Z., Asmawati, R. I., Chakim, A., & Dalle, A. R. A. (2026). Integrating Computational Thinking and Spirituality in Developing Students' Critical Thinking: A Comparative Study of Indonesia and Malaysia. *Jurnal Ilmiah Peuradeun*, 14(1), 413–438. <https://doi.org/10.26811/peuradeun.v14i1.2439>

Thibaut, L., Knipprath, H., Dehaene, W., & Depaepe, F. (2018). The influence of teachers' attitudes and school context on instructional practices in integrated STEM education. *Teaching and Teacher Education*, 71, 190–205. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.12.014>

Thornhill-Miller, B., Camarda, A., Mercier, M., Burkhardt, J.-M., Morisseau, T., Bourgeois-Bougrine, S., Vinchon, F., El Hayek, S., Augereau-Landais, M., & Mourey, F. (2023). Creativity, critical thinking, communication, and collaboration: Assessment, certification, and promotion of 21st century skills for the future of work and education. *Journal of Intelligence*, 11(3), 54. <https://doi.org/10.3390/jintelligence11030054>

Tiruneh, D. T., De Cock, M., Weldelessie, A. G., Elen, J., & Janssen, R. (2017). Measuring critical thinking in physics: Development and validation of a critical thinking test in electricity and magnetism. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(4), 663–682. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9723-0>

- Tsai, F.-H. (2025). Fostering Engineering and Computational Thinking Competencies in Pre-Service Elementary Teachers Through an EDP-Based STEM Digital Making Activity. *Sustainability*, 17(20), 9156. <https://doi.org/10.3390/su17209156>
- Tanipu, Z., Tamu, Y., Mahading, I. H. P., & Win, T. (2026). Scaffolding EFL development through recurrent multi-word sequences in Indonesian primary schools. *Jurnal Nispatti*, 11(1), 1–22. <https://doi.org/10.26811/nispatti.v11i1.225>
- Zohar, A., & Dori, Y. J. (2003). Higher order thinking skills and low-achieving students: Are they mutually exclusive? *The Journal of the Learning Sciences*, 12(2), 145–181. https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1202_1

