



Pengembangan Perangkat Pembelajaran Berbasis STEM - Project Based Learning Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Dan Keterampilan Kolaborasi Siswa SD

Vivi Sumanti, Amprasto, Astri Dwi Jayanti Suhandoko

Universitas Terbuka, Indonesia

Email: sumantivivi05@gmail.com, amprasto@upi.edu, astri.dwi@ecampus.ut.ac.id

INFO ARTIKEL

Kata kunci: keterampilan berpikir kritis, keterampilan kolaborasi, model STEM-PjBL, perangkat pembelajaran

ABSTRAK

Keterampilan abad ke-21 sebagai keterampilan penting yang semakin diakui untuk dikembangkan siswa masa kini untuk beradaptasi dengan perubahan dunia yang semakin cepat. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan perangkat pembelajaran berbasis STEM-Project Based Learning dan menguji pengaruh penggunaan perangkat pembelajaran tersebut terhadap keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi siswa SD. Jenis penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan dengan model pengembangan four-D (define, design, develop dan disseminate). Subjek uji coba pada penelitian ini yaitu 46 siswa kelas IV dari dua sekolah negeri yang berlokasi di Kota Bima Provinsi NTB. Instrumen pengumpulan data terdiri atas instrumen pedoman wawancara, lembar validasi perangkat pembelajaran, lembar kepraktisan perangkat pembelajaran, soal tes keterampilan berpikir kritis, dan lembar observasi keterampilan kolaborasi. Kelayakan dan kepraktisan perangkat pembelajaran dianalisis menggunakan statistik deskriptif. Pengaruh perangkat pembelajaran terhadap keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi dianalisis menggunakan independent samples t-test. Hasil analisis menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran berbasis STEM-Project Based Learning yang dikembangkan layak dan praktis digunakan oleh siswa kelas IV SD dengan kriteria “sangat valid”. Perangkat pembelajaran berbasis STEM-Project Based learning berpengaruh terhadap keterampilan berpikir kritis siswa yang dibuktikan dengan adanya perbedaan rata-rata skor keterampilan berpikir kritis yang signifikan antara kelas eksperimen dengan kelas kontrol dan effect sizes yang ditunjukkan oleh Cohen's $d = 3.294$ dengan kategori “besar”. Perangkat pembelajaran berbasis STEM-Project Based Learning berpengaruh terhadap keterampilan berpikir kritis siswa yang dibuktikan dengan adanya perbedaan rata-rata skor keterampilan kolaborasi yang signifikan antara kelas eksperimen dengan kelas kontrol dan effect sizes yang ditunjukkan oleh Cohen's $d = 2.224$ dengan kategori “besar”.

Keywords: *critical thinking skills, collaboration skills, STEM-PjBL models, learning tools*

ABSTRACT

21st century skills are increasingly recognized as important skills for today's students to develop to adapt to the rapidly changing world. This study aims to produce STEM-Project Based Learning learning tools and test the influence of the use of these learning tools on the critical thinking skills and collaboration skills of elementary school students. This type of research is research and

development with a four-D development model (define, design, develop and disseminate). The test subjects in this study were 46 grade IV students from two public schools located in Bima City, NTB Province. The data collection instruments consisted of interview guideline instruments, learning tool validation sheets, learning tool practicality sheets, critical thinking skills test questions, and collaboration skills observation sheets. The feasibility and practicality of the learning tools were analyzed using descriptive statistics. The influence of learning tools on critical thinking skills and collaboration skills was analyzed using independent samples t-test. The results of the analysis show that the STEM-Project-Based Learning learning tool developed is feasible and practical to be used by grade IV elementary school students with the criterion of "very valid". STEM-Project-Based learning tools have an effect on students' critical thinking skills as evidenced by a significant difference in the average score of critical thinking skills between the experimental class and the control class and the effect sizes shown by Cohen's $d = 3,294$ with the "large" category. STEM-Project Based Learning tools have an effect on students' critical thinking skills, as evidenced by a significant difference in the average score of collaboration skills between the experimental class and the control class and the effect sizes shown by Cohen's $d = 2,224$ with the "large" category.

PENDAHULUAN

Keterampilan Abad 21 sangat penting bagi peserta didik sekolah dasar untuk bekal menghadapi masa depan. Perkembangan ilmu pengetahuan yang cukup pesat yang dibarengi dengan kecanggihan teknologi dalam bidang pendidikan merupakan ciri dari pembelajaran abad ke-21. Pembelajaran di sekolah dasar harus membekali peserta didik dengan keterampilan abad 21, yang akan dibutuhkan oleh peserta didik di masa depan. peserta didik harus memiliki keterampilan abad ke-21 seperti keterampilan berpikir kritis (*critical thinking*), kreatif (*creative*), berkomunikasi (*communication*), dan berketerampilan kolaborasi (*collaboration*), yang bisa disebut dengan 4C (Zubaidah, 2019). Kebutuhan akan kompetensi 4C sangat penting di era revolusi industri 4.0 dan *society* 5.0. Keterampilan tersebut sangat mungkin untuk diberdayakan secara sengaja melalui proses pendidikan. Upaya ini mengharuskan peran pendidik dalam mengembangkan *hardskill* dan *softskill* pada peserta didik dalam pembelajaran di sekolah, agar peserta didik memiliki kemampuan 4C (*critical thinking, creative, communication dan collaboration*).

Kurikulum Merdeka berorientasi pada pembelajaran yang mendorong keterampilan abad ke-21 dengan suasana belajar interaktif, inspiratif, dan menyenangkan (Permendikbud-Ristek no. 16 tahun 2022). Guru dituntut menyesuaikan perangkat pembelajaran sesuai perkembangan siswa, memanfaatkan model belajar yang relevan, dan mengembangkan keterampilan berpikir kritis serta kolaborasi (Florea & Hurjui, 2015; Cahyaningsih, 2018; Dewi, 2022). Model pembelajaran yang efektif akan meningkatkan kualitas keterampilan kolaborasi dan berpikir kritis siswa, yang menjadi indikator penting dalam mencapai tujuan pendidikan.

Kualitas pembelajaran di Indonesia dipengaruhi oleh kompetensi guru dalam perencanaan dan pelaksanaan pembelajaran. Data Asesmen Nasional 2023 menunjukkan skor capaian belajar SD hanya 65,39%, kategori cukup (Kemendikbud-Ristek, 2023). Penyebabnya meliputi ketidaksiapan guru dalam menyusun perangkat belajar, penggunaan modul ajar yang tidak terintegrasi, dan pendekatan belajar yang monoton (Nurfathurrahmah, 2012; Verawati, 2020). Guru harus mampu memanfaatkan model seperti Project Based Learning (PjBL) berbasis STEM yang mengembangkan kemampuan analitis, kreatif, dan kolaboratif siswa (Han et al., 2016; Mustika, 2023).

Pendekatan STEM-PjBL menghubungkan sains, teknologi, rekayasa, dan matematika dalam konteks belajar nyata untuk meningkatkan keterampilan siswa dalam berpikir kritis, memecahkan masalah, dan bekerja sama (Figliano, 2017; Ridha et al., 2022). Penelitian menunjukkan bahwa PjBL-STEM memberikan pengalaman belajar yang menyenangkan, memotivasi, dan memperkuat keterampilan kolaborasi (Efstratia, 2014; Afriana, 2016). Oleh karena itu, guru perlu mengembangkan perangkat pembelajaran yang inovatif, sesuai kurikulum Merdeka, untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi siswa, serta menciptakan pengalaman belajar yang optimal (Dwiningsih et al., 2023). Melalui *project based learning (PjBL)* diharapkan keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi siswa dapat meningkat dan menjadi lebih baik, sehingga mutu pembelajaran yang diperoleh sejalan dengan tujuan pendidikan nasional. Pada pembelajaran berbasis proyek, guru sebagai fasilitator, berketerampilan kolaborasi dengan siswa dalam membuat pertanyaan yang bermanfaat dan tugas yang bermakna, sehingga dapat mengembangkan pengetahuan dan keterampilan sosial serta menilai siswa dari pengalaman belajarnya (Efstratia, 2014). Implementasi model PjBL berpotensi lebih efektif apabila diintegrasikan dengan pendidikan STEM.

Penelitian ini berjudul "Pengembangan Perangkat Pembelajaran Berbasis STEM-Project Based Learning (PjBL) untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis dan Keterampilan Kolaborasi Siswa SD." Rumusan masalah mencakup pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL dan pengaruhnya terhadap keterampilan berpikir kritis serta kolaborasi siswa. Tujuan penelitian meliputi pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL dan pengukuran pengaruhnya terhadap keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi siswa. Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat teoritis dalam pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL di tingkat SD dan manfaat praktis bagi berbagai pihak. Kepala sekolah dapat memanfaatkan hasil penelitian untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran, sementara guru dapat memperkaya kompetensi dalam menyusun perangkat pembelajaran yang kreatif dan profesional. Bagi siswa, penelitian ini bermanfaat untuk meningkatkan pemahaman dan keterampilan melalui pembelajaran yang interaktif dan mendidik. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan menjadi referensi bagi para peneliti dan praktisi pendidikan dalam mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL secara berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan 4D (*Define, Design, Develop, Disseminate*) untuk menghasilkan perangkat pembelajaran berbasis STEM-Project Based Learning (PjBL) yang valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi siswa SD. Populasi penelitian terdiri dari siswa SDN 37 Kendo Kota Bima (kelas eksperimen) dan SDN Nggarolo Kota Bima (kelas kontrol) dengan teknik purposive sampling. Instrumen penelitian mencakup lembar validasi, observasi, kuesioner, dan tes keterampilan berpikir kritis. Pengumpulan data dilakukan melalui wawancara, observasi, dan uji coba lapangan. Validitas perangkat diuji menggunakan korelasi Pearson, sedangkan reliabilitas diuji dengan Alpha Cronbach. Analisis data meliputi kevalidan, kepraktisan, dan efektivitas perangkat pembelajaran. Pengaruh perangkat terhadap keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi dianalisis menggunakan independent sample t-test dengan uji prasyarat normalitas dan homogenitas. Hasil penelitian menunjukkan perangkat pembelajaran yang dikembangkan memiliki validitas tinggi, praktis, dan berpengaruh signifikan terhadap keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi siswa, ditunjukkan oleh nilai rata-rata keterampilan yang lebih tinggi pada kelas eksperimen dibandingkan kelas kontrol, serta nilai *effect size* yang menunjukkan pengaruh sedang hingga besar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pengembangan produk perangkat pembelajaran berbasis STEM-*Project based learning* (PjBL) pada materi “Energi yang bergerak” untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi dikembangkan dengan model *four-D* (4D). Penelitian pengembangan ini dimulai dengan tahap mendefinisikan (*define*), mendesain (*design*), mengembangkan (*develop*), kemudian menyebarluaskan (*desseminate*). Perangkat pembelajaran STEM-PjBL yang dikembangkan berupa serangkaian perangkat pembelajaran seperti modul ajar, LKPD, soal kemampuan keterampilan berpikir kritis dan angket keterampilan kolaborasi.

1. Hasil Tahap Pendefinisian (*Define*)

Pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL didasarkan pada tahapan pencarian informasi terkait kegiatan pembelajaran, kebutuhan guru dan peserta didik, kesesuaian tugas, dan produk yang sesuai. Tahapan tersebut terbagi dalam enam analisis, yaitu:

a. Analisis ujung depan (*front-end analysis*)

Tahap analisis awal dalam penelitian ini mencakup studi lapangan di dua sekolah dasar di Kota Bima, NTB, untuk menganalisis capaian dan tujuan pembelajaran yang sesuai dengan model STEM-Project Based Learning (PjBL). Studi ini berfokus pada topik "Energi yang Bergerak" dalam mata pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam dan Sosial (IPAS) sesuai Kurikulum Merdeka. Materi tersebut dipilih karena memiliki banyak muatan sains dan potensi untuk kegiatan proyek

berbasis masalah. Proses penelitian meliputi analisis peserta didik kelas IV, yang berada pada tahap operasional konkret, sehingga membutuhkan pendekatan pembelajaran kontekstual. Peneliti juga melakukan wawancara dengan guru dan siswa, serta observasi langsung terhadap pembelajaran. Hasilnya menunjukkan bahwa pembelajaran masih didominasi metode ceramah dan kurang mengaktifkan siswa. Guru menghadapi tantangan dalam menyusun perangkat pembelajaran yang interaktif dan relevan, sementara siswa menunjukkan kesulitan dalam menjawab soal uraian dan bekerja dalam kelompok. Berdasarkan analisis tersebut, perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL dikembangkan untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi siswa dengan memanfaatkan proyek-proyek yang relevan dengan kehidupan sehari-hari.

b. Hasil Tahap Perancangan (Design)

Dalam merancang suatu perangkat pembelajaran berbasis *STEM-Project Based Learning* (PjBL), maka perlu diperhatikan beberapa hal. Pertama, perangkat apa saja yang akan dikembangkan oleh peneliti. Hal tersebut dilakukan mengingat banyaknya komponen perangkat pembelajaran, maka perlu disesuaikan jumlah komponen dengan ketepatan waktu yang digunakan dalam penelitian. Kedua, perangkat pembelajaran yang telah ditentukan meliputi Modul Ajar dan LKPD. Ketiga peneliti dapat menentukan format modul ajar dan LKPD tersebut sesuai dengan standar penyusunan yang baku dan telah disahkan oleh pemerintah. Keempat memilih media serta kegiatan pembelajaran menjadi pertimbangan penting peneliti. Keempat langkah merancang perangkat pembelajaran diuraikan dibawah ini. Pemilihan format modul ajar berbasis STEM-Project Based Learning (PjBL) mengacu pada Permendikbudristek Nomor 16 tahun 2022, yang meliputi tujuan pembelajaran, tahapan pembelajaran, media pembelajaran, dan asesmen. Komponen modul ajar mencakup identitas modul, kompetensi awal, profil pelajar Pancasila, sarana dan prasarana, serta target peserta didik. Materi disesuaikan dengan sintak pembelajaran STEM-PjBL yang mengintegrasikan sains, teknologi, rekayasa, dan matematika. Komponen Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) meliputi identitas, petunjuk kegiatan, materi pendukung, dan penilaian, dirancang untuk mendukung pencapaian keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi.

Pemilihan media pembelajaran disesuaikan dengan kondisi satuan pendidikan dan karakteristik peserta didik, mencakup gambar, laptop, papan tulis, LCD, dan video untuk memfasilitasi pemahaman materi yang kompleks. Penyusunan tes meliputi pembuatan kisi-kisi, indikator keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi, serta penskoran yang relevan. Pengembangan rancangan awal perangkat pembelajaran menghasilkan prototipe I yang disimulasikan oleh guru kelas IV untuk memastikan efektivitas perangkat pembelajaran sesuai prinsip STEM-PjBL sebelum melanjutkan tahap pengembangan lebih lanjut.

2. Hasil Tahap Pengembangan (Develop)

Tahap pengembangan perangkat pembelajaran berbasis *STEM-Project Based Learning* (PjBL) mencakup validasi oleh ahli dan praktisi pendidikan. Validasi modul

ajar dilakukan oleh Bambang Setiawan, M.Pd., ahli perangkat pembelajaran dengan berbagai pengalaman sebagai fasilitator program merdeka belajar dan guru penggerak. Aspek yang dinilai meliputi kualitas tujuan pembelajaran, isi, dan bahasa dengan hasil "sangat valid" berdasarkan skor rata-rata 4,9 dari skala 5. Penilaian Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) mencakup empat aspek utama: isi, ilustrasi, format teknis, dan bahasa, dengan nilai rata-rata 4,8 yang juga tergolong "sangat valid." Prototipe perangkat pembelajaran direvisi sesuai masukan ahli untuk memastikan kualitas yang optimal.

Hasil revisi perangkat pembelajaran melibatkan perbaikan desain modul ajar dan LKPD berdasarkan saran ahli. Perbaikan meliputi peningkatan tata letak cover, keluasan materi, tambahan sumber belajar, kejelasan skenario pembelajaran, dan pengembangan rubrik penilaian. Uji coba lapangan dilakukan pada peserta didik kelas IV SDN 37 Kendo untuk mengukur efektivitas perangkat dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi. Hasil analisis data menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam keterampilan tersebut dengan kategori "besar" menurut Cohen's d. Data observasi dan uji statistik mengonfirmasi bahwa perangkat ini efektif dalam mendukung proses pembelajaran yang interaktif dan kolaboratif.

3. Hasil Tahap Penyebaran (*Disseminate*)

Tahap penyebaran merupakan tahap penggunaan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL yang telah dikembangkan setelah dilakukan uji coba dikelas IV SDN 37 Kendo Kota Bima. Penyebaran perangkat pembelajaran bersifat terbatas pada perwakilan guru kelas IV yang tergabung melalui wadah Kelompok Kerja Guru (KKG) seluruh kecamatan yang ada di Kota Bima pada hari Kamis, tanggal 15 Agustus 2024 bertempat di Pusat Kegiatan Guru di SDN 61 Karara Kota Bima, dengan memberikan lembar kuesioner respon terhadap perangkat pembelajaran berbasis STEM-*Project Based Learning* (PjBL) yang dikembangkan, dengan respon yang baik diharapkan perangkat pembelajaran berbasis STEM-*Project Based Learning* (PjBL) dapat diadopsikan sesuai kondisi satuan pendidikan masing-masing.

Rekapitulasi respon guru terhadap perangkat pembelajaran berbasis STEM-*Project Based Learning* (PjBL) secara ringkas dipaparkan pada tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi respon guru terhadap perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL

No	Aspek Yang di Respon	Penilaian							
		Sangat Baik		Baik		Kurang Baik		Tidak Baik	
		Jumlah	%	Jumlah	%	Jumlah	%	Jumlah	%
1	Modul ajar	19	82,6	4	17,4	0	0	0	0
2	LKPD	18	78,3	5	21,7	0	0	0	0

Berdasarkan hasil analisis diatas menunjukkan adanya persentase respon guru terhadap perangkat pembelajaran berbasis STEM-*Project Based Learning* (PjBL) yang digunakan dalam proses pembelajaran, respon sangat baik (modul ajar 82,6% dan LKPD 78,3%). Berdasarkan analisis keefektifan pada bab III, bahwa anggota *audience*

merespon positif apabila lebih dari 50%. Hal ini mengindikasikan bahwa indikator keefektifan untuk respon guru dinyatakan terpenuhi.

Pembahasan

Produk yang dihasilkan dari penelitian dan pengembangan ini yaitu berupa perangkat pembelajaran berbasis *STEM-Project Based Learning* (PjBL) pada materi “Energi yang bergerak”. Perangkat pembelajaran merupakan bagian terpenting dalam proses pembelajaran, agar proses pembelajaran berjalan efisien, efektif dan juga terstruktur karena adanya perangkat pembelajaran (Nurmaya et al., 2021). Perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL yang dihasilkan berupa modul ajar dan lembar kerja peserta didik (LKPD). Badan Standar Kurikulum dan Asesmen Pendidikan (2022) menjelaskan bahwa modul ajar sekurang-kurangnya yang berisi tujuan, langkah, media pembelajaran, asesmen, serta informasi dan referensi belajar lainnya yang dapat membantu pendidik dalam melaksanakan pembelajaran. Modul ajar dalam Kurikulum Merdeka ditujukan untuk membantu pendidik mengajar secara lebih fleksibel dan kontekstual, tidak selalu menggunakan buku teks pelajaran.

Perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL merupakan perangkat pembelajaran yang disusun khusus untuk menerapkan model PjBL dan pendekatan STEM, sehingga berfungsi sebagai pedoman bagi guru dalam pelaksanaan pembelajaran. Han et al. (2014) mengatakan bahwa memahami cara menerapkan STEM-PjBL secara efektif memainkan peran utama dalam cara guru mengajar dan pengalaman belajar terbaik bagi siswa. Oleh karena itu, peran perangkat pembelajaran sangat penting agar guru dapat menerapkan STEM-PjBL secara efektif. Langkah pembelajaran yang disusun pada modul ajar dan LKPD mengikuti sintaks model PjBL. Model *project based learning* (PjBL) merupakan model pembelajaran yang menekankan pada pemberian tugas, khususnya dalam bentuk proyek yang dapat mengarahkan siswa untuk mengalami proses penyelidikan (Hamidah et al., 2020). Pendidikan STEM dapat dimaknai sebagai pendekatan pembelajaran yang mengintegrasikan konten dan keterampilan khusus untuk *science, technology, engineering, and mathematics* (Martín-Páez et al., 2019).

Teori belajar konstruktivisme dijadikan landasan dalam penelitian ini, sebagai dasar untuk implementasi perangkat pembelajaran berbasis *STEM-Project Based Learning* (PjBL). Alasan menggunakan teori belajar konstruktivisme karena model PjBL berakar pada teori konstruktivisme. Hal tersebut didukung oleh pernyataan dari Choi et al. (2019) yang menyatakan bahwa *Project Based Learning* (PjBL) merupakan suatu bentuk pendidikan yang berakar pada teori konstruktivisme. Perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL penting untuk dikembangkan agar tersedia perangkat pembelajaran yang mampu memfasilitasi berkembangnya keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi siswa SD.

Tujuan pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL pada penelitian ini yaitu meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi siswa sekolah dasar. Berpikir kritis merupakan proses dimana segala pengetahuan dan keterampilan dikerahkan dalam memecahkan permasalahan yang

muncul, mengambil keputusan, menganalisis semua asumsi yang muncul dan melakukan investigasi atau penelitian berdasarkan data dan informasi yang telah didapat sehingga menghasilkan informasi atau simpulan yang diinginkan (Ariyana et al., 2018). Selain berpikir kritis, keterampilan kolaborasi juga penting untuk dimiliki oleh siswa sekolah dasar. Keterampilan kolaborasi adalah kemampuan untuk bekerja bersama dengan orang lain disertai perasaan senang ketika berada bersama dengan orang lain dan menunjukkan sikap positif terhadap orang lain (Kemdikbudristek, 2022). Perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL penting untuk dapat memfasilitasi berkembangnya keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi sehingga perlu dilakukan penelitian dan pengembangan.

Penelitian ini adalah penelitian pengembangan yang memiliki komponen penting dalam proses menciptakan desain instruksional yaitu 1) tahap pencarian kendala di lapangan, analisis setiap aspek pembelajaran, penentuan produk; 2) tahap perancangan produk; 3) tahap pembuatan produk; 4) tahap lanjutan untuk menyebarkan produk dalam skala luas (Thiagarajan et al., 1974: 5). Produk perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL yang telah disusun kemudian dinilai oleh ahli perangkat pembelajaran. Berdasarkan penilaian ahli perangkat pembelajaran diperoleh rata-rata skor sebesar 4.85, yang termasuk kategori “sangat valid”. Artinya, perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL yang dikembangkan telah layak untuk digunakan dalam pembelajaran IPAS.

Perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL juga dinilai oleh guru dan teman sejawat. Hasil penilaian yang diperoleh atas penilaian guru dan teman sejawat terhadap perangkat pembelajaran adalah 4.80, termasuk dalam kategori “sangat valid”. Artinya, perangkat pembelajaran yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan mereka dalam proses pembelajaran yang bermakna.

Saran dan komentar yang diberikan oleh ahli perangkat pembelajaran digunakan untuk melakukan revisi terhadap produk perangkat pembelajaran yang dihasilkan. Menurut ahli perangkat pembelajaran, ditinjau dari isi dan penyajian aspek materi sudah baik, namun perlu keluasan materi agar dapat menjelaskan tujuan pembelajaran seutuhnya sehingga materi ajar dan tujuan pembelajaran sesuai. Pada aspek skenario pembelajaran, ahli perangkat pembelajaran menilai sudah baik, namun perlu diuraikan pengelompokan siswa sehingga diferensiasi awal pembelajaran terlihat. Selain itu, untuk kelengkapan instrumen evaluasi pedoman penskoran harus ada. Menurut ahli perangkat pembelajaran, ditinjau dari aspek bahasa sudah sangat baik sehingga dikategorikan sangat layak untuk digunakan.

Produk perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL yang telah dinilai oleh ahli, dilakukan uji coba di lapangan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi siswa SD. Uji coba dilakukan dengan menggunakan dua kelas yaitu kelas eksperimen dan kelas kontrol. Kelas eksperimen menggunakan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL sebagai pedoman, sedangkan kelas kontrol menerapkan model pembelajaran langsung (*direct instruction*) dengan mengikuti alur pada buku paket. Data keterampilan berpikir kritis yang diperoleh dari hasil uji coba produk di lapangan dianalisis menggunakan *independent sample t-test*. Hasil *independent sample t-test* pada skor *posttest* keterampilan berpikir kritis, diperoleh

nilai Sig. (2-tailed) yaitu $0.00 < 0.05$, yang berarti terdapat perbedaan rata-rata skor berpikir kritis yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol setelah adanya perlakuan pembelajaran yang berbeda. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL berpengaruh terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya perbedaan rata-rata skor keterampilan berpikir kritis yang signifikan antara kelas eksperimen dengan kelas kontrol, rata-rata skor keterampilan berpikir kritis kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol, dan *effect sizes* yang ditunjukkan oleh Cohen's *d* memperoleh kategori "besar".

Perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL yang dikembangkan terbukti berpengaruh terhadap keterampilan berpikir kritis siswa SD. Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa hasil penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh para peneliti lain. Hasil penelitian dari Lestari et al. (2024) menunjukkan bahwa model STEM-PjBL dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa SD kelas V pada pembelajaran IPAS. Hasil penelitian dari Wati et al. (2024) menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan pada keterampilan berpikir kritis siswa SD antara siswa yang diberikan perlakuan pembelajaran PjBL-STEM pada kelas eksperimen dengan pembelajaran konvensional pada kelas kontrol. Model STEM-PjBL terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa SD. Penelitian dari Dewi et al. (2023) menunjukkan bahwa terdapat pengaruh model PjBL berbasis STEM terhadap kemampuan berpikir kritis siswa SD kelas V.

Hasil penelitian Hakiki et al. (2022) menunjukkan bahwa pengembangan perangkat pembelajaran model PjBL terintegrasi STEM dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa secara signifikan. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Gandi et al. (2021) menunjukkan bahwa hasil *t-test* keterampilan berpikir kritis siswa menunjukkan nilai sig (2-tailed) 0,002 yang berarti terdapat perbedaan rata-rata keterampilan berpikir kritis antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Rata-rata kelas eksperimen lebih tinggi daripada kelas kontrol. PjBL-STEM mendorong pengembangan keterampilan berpikir kritis karena siswa diharuskan dapat memecahkan masalah yang kompleks dan dapat menentukan solusi yang inovatif, hal ini membantu siswa untuk tidak hanya memahami konsep-konsep secara teoritis, tetapi juga mampu menerapkannya dalam konteks yang relevan (Wati et al., 2024). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian ini sejalan dengan berbagai hasil penelitian terdahulu bahwa perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL berpengaruh terhadap keterampilan berpikir kritis siswa SD.

Lembar kerja peserta didik (LKPD) berbasis STEM-PjBL yang digunakan pada kelas eksperimen dapat menjadi salah satu alasan mengapa kelas eksperimen lebih unggul dibandingkan kelas kontrol dilihat dari keterampilan berpikir kritis siswa. LKPD merupakan lembaran yang berisi pedoman bagi siswa untuk melakukan kegiatan terprogram. Lembar kegiatan peserta didik merupakan alat belajar siswa yang memuat berbagai kegiatan yang akan dilaksanakan oleh siswa secara aktif, yang dapat berupa pengamatan, eksperimen dan pengajuan pertanyaan (Handayani, 2020). Lembar kerja yang digunakan pada kelas kontrol hanya berupa lembar kerja yang berisi soal-soal

latihan sehingga sangat berbeda dengan LKPD berbasis STEM-PjBL. Pengembangan LKPD berbasis STEM-PjBL pada penelitian ini dicirikan dengan adanya fase (sintaks) model yang tertulis secara jelas pada LKPD, petunjuk kerja untuk memandu melaksanakan proyek, tempat untuk membuat desain produk STEM, tabel hasil diskusi, dan tersedianya soal diskusi untuk melatih berpikir kritis siswa. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Prasadi et al. (2020) bahwa LKPD berbasis STEM efektif untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa SD. Hasil penelitian dari Octaviani et al. (2024) juga menunjukkan hasil yang serupa yaitu LKPD berbasis STEM dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis di sekolah dasar, dan layak digunakan di dalam lingkungan sekolah.

Selain keterampilan berpikir kritis, siswa SD juga perlu dilatih untuk mengembangkan keterampilan kolaborasi dalam pembelajaran IPAS. Pengaruh perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL yang dikembangkan terhadap keterampilan kolaborasi siswa dapat diketahui berdasarkan hasil analisis data yang dilakukan dengan menggunakan *independent sample t-test*. Berdasarkan *independent sample t-test* diketahui bahwa *Levene's Test for Equality of Variances* signifikan secara statistik ($F = 10.090$, $\text{Sig.} = 0.003$), yang menunjukkan bahwa asumsi homogenitas varians dilanggar. Akibatnya, pada analisis data keterampilan kolaborasi ini menggunakan *the t test for Equal variances not assumed*. Hasil *the t test for Equal variances not assumed (Welch's t test)* signifikan, karena diperoleh nilai $\text{Sig. (2-tailed)} 0.000 < 0.005$. Artinya, terdapat perbedaan rata-rata keterampilan kolaborasi yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol setelah diberikan pembelajaran dengan perlakuan yang berbeda.

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa penggunaan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL berpengaruh terhadap keterampilan kolaborasi peserta didik. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya perbedaan rata-rata skor keterampilan kolaborasi yang signifikan antara kelas eksperimen dengan kelas kontrol, rata-rata skor keterampilan kolaborasi kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol, dan *effect sizes* yang ditunjukkan oleh Cohen's *d* memperoleh kategori "besar". Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh para peneliti lain. Hasil penelitian dari Herlina et al. (2023) menunjukkan bahwa keterampilan kolaborasi siswa SD yang menggunakan model *project based learning* terintegrasi STEM lebih unggul/memperoleh hasil yang lebih signifikan daripada kelas yang menggunakan model pembelajaran konvensional. Hasil penelitian dari Herlina et al. (2023) tersebut juga menunjukkan bahwa kelas yang menerapkan STEM-PjBL mengalami beberapa peningkatan antara lain menjadi lebih percaya diri, memiliki sikap positif, lebih mampu menghargai siswa lain dalam kelompok yang sama, memiliki kemampuan yang lebih baik dalam memberikan dukungan kepada teman dalam kelompoknya, siswa lebih mampu membangun semangat bersama dalam kelompok.

Implementasi perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL menghasilkan proyek yang lahir dari ide kreatif peserta didik melalui interaksi dengan kelompoknya. Menurut OEDC (2022) keterampilan kolaborasi dapat membantu individu mengeksplorasi dan

mengembangkan ide orang lain, serta memperbaiki kelemahan ide tersebut. Vygotsky menganggap lingkungan sosial penting untuk pembelajaran dan berpendapat bahwa interaksi sosial mengubah pengalaman belajar (Schunk, 2012). Penerapan pada STEM-PjBL adalah melaksanakan kegiatan STEM melalui pembelajaran yang dilakukan dalam kelompok dan berkolaborasi untuk menghasilkan proyek. Penelitian ini menggunakan 6 indikator keterampilan kolaborasi berdasarkan Mawaddah et al. (2022) yaitu berkontribusi secara aktif; bekerja secara produktif; menunjukkan fleksibilitas dan kompromi; mengelola proyek dengan baik; menunjukkan sikap menghargai, dan menunjukkan tanggung jawab.

Implementasi model STEM-PjBL pada penelitian ini juga didukung dengan adanya “LKPD berbasis STEM-PjBL” sehingga mempermudah siswa dalam berkolaborasi dengan temannya dalam melakukan proyek STEM. LKPD berbasis STEM-PjBL yang dikembangkan pada penelitian ini menjelaskan secara rinci petunjuk kerja dan langkah-langkah yang harus dilakukan oleh siswa dalam melakukan proyek. Sementara itu, kelas kontrol pada penelitian ini hanya menggunakan lembar kerja yang berisi soal-soal latihan, sedangkan urutan kegiatan tidak tertera pada lembar kerja, sehingga siswa hanya mengikuti petunjuk dari guru. Siswa pada kelas kontrol dikelompokkan untuk berdiskusi mengerjakan soal pada lembar kerja, sedangkan siswa kelas eksperimen dikelompokkan untuk melakukan proyek STEM. Hasil penelitian dari Adhiati et al. (2023) menunjukkan adanya peningkatan pada kemampuan berkolaborasi siswa SD setelah menggunakan LKS (LKPD) pembelajaran IPA berbasis STEM dengan perbedaan hasil data pretest dan posttest pada uji kelompok besar adalah sebesar 8.50. Perbedaan hasil nilai posttest antara kelas eksperimen dan kontrol sebesar 7.816 yang menunjukkan adanya peningkatan kemampuan berkolaborasi siswa kelas eksperimen. Berdasarkan hasil penelitian ini dan didukung dengan hasil penelitian terdahulu maka dapat disimpulkan bahwa LKPD berbasis STEM-PjBL berperan penting untuk memfasilitasi kolaborasi antar siswa melalui petunjuk yang disajikan pada LKPD.

Pembelajaran berbasis proyek yang terintegrasi dengan STEM di SD memberikan dampak positif terhadap kinerja pembelajaran dengan mendorong pembelajaran langsung, mengembangkan keterampilan utama seperti kolaborasi dan komunikasi, serta menjadikan pembelajaran menarik dan relevan (Suranti & Wahyuningsih, 2023). Hal ini juga mendukung gagasan bahwa untuk mencari pengetahuan dan menghadapi lingkungan dalam institusi pendidikan, keterampilan kolaborasi dapat ditingkatkan melalui penerapan model pembelajaran yang terintegrasi (Khoirunnisa & Sudibyo, 2023). Model STEM-PjBL mendorong siswa untuk bekerja sama dalam tim untuk mencapai tujuan proyek, kerja sama dan kolaborasi yang dibutuhkan dalam proses ini memungkinkan siswa untuk berpikir kritis dan bertanggung jawab atas kesalahan atau kesulitan yang dihadapi (Nisah et al., 2024). Implementasi perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL pada penelitian ini terbukti mendorong siswa untuk berkolaborasi dengan anggota kelompoknya untuk melakukan proyek sehingga berhasil dalam membuat produk STEM.

Samsudin et al. (2020) menjelaskan bahwa dengan menggabungkan STEM dengan PjBL, guru memastikan keterlibatan siswa secara maksimal dalam proses pembelajaran

yang dicapai. Proses PjBL adalah pembelajaran yang berpusat pada siswa yang memberikan lebih banyak otonomi bagi siswa untuk belajar sendiri. STEM-PjBL menekankan untuk merancang dan mengembangkan produk yang mengharuskan siswa menjalani proses STEM. Misalnya, jika siswa bekerja sendiri, elemen *engineering* merupakan aktivitas yang menantang yang mengharuskan siswa untuk menguji dan menguji ulang produk tersebut karena sifat proses STEM PjBL. Aktivitas semacam ini mengharuskan siswa untuk bekerja dalam kelompok. Berdasarkan penjelasan tersebut, penerapan STEM-PjBL telah terbukti dapat memfasilitasi berkembangnya keterampilan kolaborasi siswa.

Jolly (2017) menyebutkan bahwa siswa mengembangkan keterampilan kolaborasi yang baik saat siswa melakukan aktivitas dan siswa memperdalam pemahaman tentang konsep sains dan Matematika. Aktivitas STEM telah terbukti meningkatkan motivasi siswa, minat terhadap karier STEM, dan pandangan positif terhadap pendidikan interdisipliner dan keterampilan abad ke-21 seperti kolaborasi, berpikir kritis, kreativitas, dan pemecahan masalah (Hiğde & Aktamış, 2022). Hasil penelitian ini mendukung pernyataan tersebut bahwa aktivitas STEM dapat meningkatkan keterampilan kolaborasi dan keterampilan berpikir kritis siswa. Oleh karena itu, kelas yang menerapkan STEM-PjBL lebih unggul apabila ditinjau dari keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi siswa dibandingkan kelas kontrol yang menerapkan model pembelajaran langsung.

Perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL yang dikembangkan telah terbukti berpengaruh terhadap keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi siswa SD. Alasan mengapa perangkat ini lebih unggul karena produk modul ajar dan LKPD yang disusun telah mengintegrasikan STEM dan model PjBL. Saat menyusun modul ajar, sintaks dari model PjBL digunakan dalam menyusun kegiatan pembelajaran inti. Setiap sintaks (fase) dari model PjBL tertulis secara jelas pada modul ajar sehingga mempermudah guru dalam menerapkannya di kelas. Sintaks dari model PjBL yang digunakan yaitu *planning and design, creating, processing (presentation & evaluation)*. Sintaks dari model PjBL juga tertulis pada LKPD sehingga mempermudah siswa dalam mengikuti alur kegiatan pembelajaran di kelas. Proses pemilihan proyek pada penelitian ini harus mempertimbangkan kegiatan STEM apa yang cocok sehingga setiap komponen STEM yaitu *science, technology, engineering, dan mathematics* dapat muncul pada proses pembuatan produk.

Sintaks model STEM-PjBL yang diterapkan oleh guru dalam proses pembelajaran dapat memfasilitasi berkembangnya keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi. Fase *planning* dalam implementasinya mencakup persiapan proyek dan perencanaan proyek yang sistematis. Pada tahap ini menghadapkan siswa pada masalah riil, mendorong mereka mengidentifikasi masalah tersebut yang selanjutnya siswa diminta untuk menemukan alternatif pemecahan masalah dan mendesain model pemecahan masalah yang aspiratif berdasarkan kemampuan dan kebutuhan mereka (Supardan, 2015). Semua tahapan pembelajaran proyek berkontribusi dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis, dimulai dengan tahap pemilihan proyek

dengan cara yang sesuai dengan siswa, keinginan dan kebutuhan mereka (Issa & Khataibeh, 2021). Pada penelitian ini pemilihan proyek yang akan dilakukan oleh siswa tentunya mempertimbangkan keinginan dan kebutuhan siswa, terutama dalam mempelajari materi IPAS.

Tahap perencanaan (*planning*), yang dimulai dengan pengetahuan siswa sebelumnya, menetapkan dan merumuskan pertanyaan memungkinkan siswa untuk memperluas persepsi dan pemikiran mereka terhadap kegiatan yang dibangun dalam pembelajaran berbasis proyek (Issa & Khataibeh, 2021). Aktivitas singkat yang dilakukan pada fase *planning* pada penelitian ini yaitu dengan mengajukan beberapa pertanyaan yang menggugah rasa ingin tahu untuk mendorong siswa berpikir kritis. Pendekatan STEM terpadu dicirikan oleh pertanyaan pendorong yang akan memberi siswa untuk berpikir kritis (Yaki, 2022). Hal tersebut sesuai dengan pernyataan dari Hatuwe et al. (2023) yang menyatakan bahwa dengan mengajukan pertanyaan yang menggugah pikiran, guru merangsang berpikir kritis siswa. Menetapkan masalah dan mengajukan pertanyaan di awal pembelajaran pada model PjBL merupakan titik awal dari proses penyelidikan. Proses penyelidikan dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah, kolaborasi, serta pengelolaan diri siswa (Hamidah et al., 2020). Berdasarkan penjelasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa tahap *planning* pada saat implementasi model STEM-PjBL berkontribusi dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa.

Fase *planning* juga berkontribusi terhadap keterampilan kolaborasi siswa SD. Siswa secara berkelompok diminta untuk merencanakan pelaksanaan proyek STEM, mereka bekerja sama dalam menentukan alat dan bahan yang akan digunakan dalam membuat produk STEM. Siswa kemudian diminta untuk membuat desain produk STEM sebelum mereka membuat produk tersebut. Selama proses perencanaan, siswa dalam kelompoknya saling berdiskusi dan berbagi ide dengan anggota kelompoknya. Pendekatan STEM juga dicirikan oleh kolaborasi antar siswa di mana siswa berbagi dan membenarkan ide-ide mereka (Yaki, 2022). Keterampilan kolaborasi dapat dikembangkan dalam lingkungan belajar di kelas yang memungkinkan siswa untuk berbagi ide dan mendapatkan umpan balik dari orang lain (Saimon et al., 2023). Kegiatan pada fase *planning* berkontribusi terhadap peningkatan keterampilan kolaborasi siswa karena siswa harus mampu bekerja sama dalam melakukan perencanaan proyek dengan saling berbagi ide dan mendapatkan umpan balik dari anggota kelompoknya.

Tahap kedua dari perangkat STEM-PjBL yaitu *creating* yang disebut pelaksanaan proyek. Siswa diberikan kesempatan untuk berekspresi dalam merancang secara berkelompok serta melakukan investigasi dan mempresentasikan laporan baik secara lisan maupun tulisan berdasarkan masalah yang telah ditentukan sebelumnya. Siswa secara berkelompok membuat 1 kincir air dari botol plastik, stik es, sedotan air, dan sandal bekas. Siswa melakukan uji coba kincir air di luar ruangan. Uji coba dilakukan sebanyak 3 kali dan dicatat dalam LKPD. *Project based learning* merupakan salah satu kegiatan pendidikan yang dapat membantu siswa membangun keterampilan kolaborasi, karena menuntut siswa untuk berkolaborasi dalam kelompok kecil untuk memecahkan masalah

dan menghasilkan produk (Rehman dkk., 2023). Pada penelitian ini, produk yang dihasilkan dari proyek adalah produk STEM berupa kincir air dari botol plastik.

Teori perkembangan kognitif Piaget menjelaskan bahwa pendidik perlu mendorong anak untuk mengeksplorasi dan bereksperimen (Ornstein et al., 2011). Uji coba produk STEM pada tahap *creating* sesuai dengan teori perkembangan kognitif Piaget karena uji coba produk melibatkan proses eksplorasi dan eksperimen. Vygotsky adalah salah satu ahli *social learning theorists*, yang teorinya mendalilkan bahwa orang belajar dari interaksi sosial, yang mengarah pada perubahan langkah demi langkah dalam proses pembelajaran dan perilaku siswa. Teori tersebut juga menunjukkan bahwa dalam belajar, cara siswa memecahkan masalah dan memajukan perkembangan belajar mereka bergantung pada interaksi sosial mereka (Zhou, 2020). Penerapan *social learning theorists* dari Vygotsky pada penelitian ini yaitu siswa dalam melakukan proyek STEM membutuhkan adanya interaksi sosial dengan anggota kelompoknya sehingga dapat mendorong siswa untuk belajar.

Berdasarkan teori *zone of proximal development* (ZPD), orang dengan keterampilan tingkat lanjut yang lebih rendah dapat belajar lebih banyak dari orang lain yang memiliki keterampilan lebih maju melalui pemodelan yang ditampilkan dalam perilaku individu yang lebih berpengalaman dan maju (Zhou, 2020). Penerapan ZPD pada penelitian ini yaitu ketika terdapat siswa yang memiliki keterampilan lebih rendah dalam kelompoknya maka dia akan belajar dari anggota lain dalam kelompoknya yang memiliki keterampilan lebih maju. Anak-anak bekerja dalam zona perkembangan proksimalnya ketika mereka terlibat dalam tugas-tugas yang tidak dapat mereka lakukan sendiri tetapi dapat dilakukan dengan bantuan teman sebaya atau orang dewasa. Ketika anak-anak bekerja bersama, setiap anak kemungkinan memiliki teman yang melakukan tugas tertentu dengan tingkat kognitif yang sedikit lebih tinggi, tepatnya dalam zona perkembangan proksimal anak (Devi, 2019). Pada penelitian ini, kegiatan proyek STEM tidak dapat dilakukan sendiri oleh siswa, sehingga membutuhkan adanya bantuan teman sebaya atau orang dewasa (guru).

Gagasan Vygotsky tentang *zone of proximal development* (ZPD), pendidik dapat menggunakan gagasan bahwa memberikan dukungan dan bimbingan yang tepat waktu dan relevan kepada siswa dapat sangat membantu dalam pengembangan pengetahuan dan keterampilan sains siswa (Krajcik & Czerniak, 2018). Oleh karena itu, pada penelitian ini guru memberikan dukungan dan bimbingan yang tepat dan relevan kepada siswa terutama saat siswa mengalami kesulitan dalam melakukan proyek STEM. Tahap *creating* pada sintaks model STEM-PjBL menjadi tahap yang sangat penting untuk diberikan bimbingan oleh guru agar siswa berhasil dalam membuat produk STEM.

Olusegun (2015) menjelaskan bahwa manfaat ketika menerapkan teori konstruktivisme yaitu anak belajar lebih banyak, dan lebih menikmati belajar ketika mereka terlibat secara aktif, dibandingkan menjadi pendengar yang pasif. Pembelajaran dengan model STEM-PjBL pada penelitian ini, yang menerapkan teori konstruktivisme membuat siswa terlibat aktif dalam pembelajaran karena siswa harus melakukan proyek STEM sekaligus belajar dengan membangun pengetahuannya. Berdasarkan penelitian ini,

siswa terlibat aktif dan menikmati proses belajarnya di kelas ketika siswa melaksanakan proyek STEM. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Lestari et al. (2024) bahwa penerapan model pembelajaran STEM-PjBL melibatkan siswa secara aktif dalam setiap tahapan kegiatan pembelajaran, mulai dari tahap identifikasi masalah, penelitian, perencanaan, pelaksanaan proyek, hingga evaluasi hasil.

Tahap ketiga dari perangkat pembelajaran STEM-PjBL yaitu *processing*, yakni meliputi presentasi proyek dan evaluasi proyek. Supardan (2015) menjelaskan bahwa presentasi proyek yaitu mengkomunikasikan secara aktual kreasi atau temuan dari investigasi kelompok termasuk refleksi dan tindak lanjut proyek-proyek. Sementara evaluasi yang dilakukan pada tahap ini mencakup evaluasi diri. Berdasarkan penelitian ini, siswa secara berkelompok diminta untuk menunjukkan kincir air yang dibuat dan sekaligus menunjukkan bagaimana kincir air tersebut dapat berputar. Siswa juga diminta untuk presentasi hasil diskusi yang sudah dituliskan pada LKPD. Evaluasi proyek dilakukan dengan cara evaluasi diri yaitu siswa diminta untuk membandingkan hasil kincir air yang dibuat oleh kelompoknya dengan kelompok lain, lalu diminta untuk mengusulkan perbaikan apa yang dapat diusulkan agar kincir air dapat berputar lebih kencang. Ashidiq et. al (2024) menyatakan bahwa keterampilan berpikir kritis siswa berperan dalam menciptakan solusi yang efektif untuk memperbaiki produk siswa.

Tahap ketiga yaitu *processing (presentation & evaluation)* pada model STEM-PjBL juga berkontribusi terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi siswa SD. Hasil penelitian ini didukung oleh hasil penelitian lain yang dilakukan oleh Lestari et al. (2024) yang menyatakan bahwa setiap tahapan proyek pada STEM-PjBL mengharuskan siswa untuk berpikir kritis, diskusi kelompok dan presentasi proyek juga mendorong siswa untuk mengembangkan keterampilan komunikasi dan kolaborasi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi siswa pada kelas eksperimen yang menggunakan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL lebih unggul dibandingkan kelas kontrol yang menerapkan model pembelajaran langsung (*direct instruction*) dengan mengikuti alur pada buku paket. Alasan menggunakan model pembelajaran langsung pada kelas kontrol karena model ini yang paling sering diterapkan di sekolah oleh guru. Hal tersebut diperkuat pernyataan dari Kilbane dan Milman (2014) yang menyatakan bahwa model pembelajaran langsung merupakan model populer di semua jenis lingkungan pendidikan, meskipun dianggap sebagai model pembelajaran “tradisional”, model ini telah menjadi favorit abadi di kelas karena sangat efisien dalam penggunaan waktu pengajaran dan efektif jika dipadukan dengan konten yang sesuai. Kilbane dan Milman (2014) menjelaskan bahwa peran guru pada model pembelajaran langsung adalah memperkenalkan konten secara langsung. Guru memberikan bimbingan "ahli" kepada siswa dengan berbagi pengetahuan dan wawasan yang diperoleh dari pengalaman dan pembelajaran. Peran siswa adalah mendengarkan, belajar, mempraktikkan, dan menerapkan pengetahuan, keterampilan, atau prosedur yang diajarkan kepadanya.

Kelas kontrol pada penelitian ini mengikuti langkah model pembelajaran langsung.

Langkah-langkah model pembelajaran langsung (*direct instruction*) meliputi (1) pendahuluan (*introduction*), (2) presentasi (*presentation*), (3) praktik terbimbing (*guided practice*) dan (4) praktik mandiri (*independent practice*) (Kilbane & Milman, 2014). Tahap pendahuluan, guru menjelaskan tujuan pembelajaran dan apa yang akan dilakukan siswa. Tahap presentasi, guru menyajikan dan mendemonstrasikan konten baru. Guru menggunakan metode ceramah untuk menjelaskan materi yang dipelajari. Siswa mendengarkan dan memperhatikan guru. Tahap praktik terbimbing, guru mendemonstrasikan konten baru dengan contoh baru atau berbeda sementara siswa mengikuti dan mempraktikkan konten baru. Guru memberikan contoh soal dan menjelaskan cara mengerjakannya. Tahap praktik mandiri, guru bertindak lebih sebagai fasilitator dan pemantau praktik mandiri siswa. Pada penelitian ini, siswa dikelompokkan untuk berdiskusi mengerjakan soal.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kelas kontrol yang menerapkan model pembelajaran langsung (*direct instruction*) memiliki rata-rata skor keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi yang lebih rendah dibandingkan kelas eksperimen yang menerapkan *STEM-Project based learning*. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sitanggang dan Haryanto (2023) yang menyatakan bahwa pengaruh model *project based learning* terhadap keterampilan berpikir kritis siswa lebih baik dibandingkan dengan model pembelajaran *direct instruction*. Keunggulan model STEM-PjBL dibandingkan *direct instruction* tentunya akan dapat lebih maksimal untuk diterapkan apabila disertai dengan perangkat pembelajaran yang dapat digunakan oleh guru sebagai pedoman dalam pembelajaran.

Perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL yang digunakan pada kelas eksperimen membantu guru menyampaikan berbagai materi pembelajaran yang kompleks, luas, dan dinamis, seperti “energi yang bergerak” ke siswa melalui pemanfaatan media video serta kegiatan praktek untuk menghasilkan proyek ‘kincir air’ sederhana. Hal ini akan menambah pemahaman, pengetahuan, serta motivasi siswa terhadap pengetahuan baru. Perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL berisi materi yang mengaitkan persoalan dalam kehidupan dengan pemanfaatan alam di sekitar. Hal tersebut bertujuan agar siswa sendiri yang mengaitkan apa, bagaimana, dan kenapa segala yang ada di sekitarnya dapat terjadi dan berkaitan erat. Siswa tidak lagi menghafal materi, namun dapat secara langsung mampu membangun pengetahuan dan pengalaman dengan bimbingan guru. Hal ini dilakukan oleh guru agar siswa paham situasi kehidupan yang lebih luas, tidak hanya terbatas pada kehidupan sekolah saja, sehingga merangsang peserta didik untuk mengaitkan permasalahan yang ada di sekitar dengan ilmu pengetahuan yang diperolehnya. Menurut Jolly (2017), siswa STEM menggunakan praktik rekayasa untuk menerapkan konsep dalam sains dan matematika untuk tujuan praktis, yaitu untuk membuat produk, prototipe, dan model yang mereka yakini akan memecahkan masalah nyata. Hasil dari tiap fase pembelajaran adalah memunculkan konflik kognitif bersifat memotivasi dan memberikan kesempatan untuk mengaktifkan dan memperoleh pengetahuan sebelumnya (Ruiz-Martin & Bybee, 2022).

Materi yang disajikan dalam perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL

mencakup kegiatan petani, pemanfaatan sumber air, proses pengelolaan air melalui alat sederhana, dan manfaat dari alat sederhana untuk menunjang kehidupan dan pertanian. Materi tersebut terangkum dari berbagai sumber seperti buku, ensiklopedia, buku siswa, dan internet. Pengintegrasian STEM-PjBL yang menggabungkan empat disiplin ilmu *Science, Technology, Engineering and Mathematic* dilakukan seperti pada tahap perencanaan penerapan, STEM dalam bentuk penggunaan teknologi untuk mencari referensi dan rancangan proyek, sains penerapannya pada pengembangan proyek, teknik dalam merancang proyek, serta matematika diintegrasikan pada tahap perencanaan penggunaan alat dan bahan yang akan dimanfaatkan dalam pembuatan proyek. Penerapan PjBL dalam penelitian dilakukan berdasarkan tahapan-tahapan pembelajaran yaitu persiapan dan perencanaan proyek/*planning*), pelaksanaan/*creating*, dan presentasi proyek dan evaluasi proyek/*processing* (Supardan, 2015).

Pengintegrasian pembelajaran STEM-PjBL tertuang dalam modul ajar dan LKPD sebagai produk yang dikembangkan dan memiliki dampak dalam pemanfaatannya. Bagi siswa, penerapan dengan pendekatan multi disiplin ilmu membawa suasana belajar yang menyenangkan sekaligus menantang dalam mengasah keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, kolaborasi, dan kreativitas sehingga pembelajaran yang terjadi lebih bermakna karena kegiatan pembelajaran fokus pada aktivitas siswa secara langsung. Menurut Mu'Minah et al. (2019) implementasi STEM dalam pembelajaran dapat membuat siswa belajar mengaplikasikan kandungan utama dan mempraktikkan setiap disiplin STEM ke dalam segala situasi yang peserta didik hadapi dalam hidupnya sehingga terlatih untuk berkolaborasi, berpikir tingkat tinggi dan memberikan kreativitas sebagaimana tuntutan abad-21.

Ada beberapa faktor yang berkontribusi terhadap skor perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL yang lebih tinggi dalam hal kualitas. Pertama, perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL dikembangkan bukan hanya fokus pada penguasaan diri dalam mengumpulkan pengetahuan, namun juga suatu proses penemuan dan dihubungkan dengan sains, lingkungan, teknologi, dan masyarakat. Oleh karena itu guru harus menerapkan nilai-nilai sains menjadi satu kesatuan yang dalam konsep pendidikan mempunyai implementasi untuk menumbuhkan keterampilan abad-21 pada peserta didik (Wijayama, 2020). Indikator implementasi keterampilan abad-21 dapat dinilai melalui mendemonstrasikan hal-hal menyeluruh pada pendekatan pembelajaran (Suprastowo, 2010). Penggunaan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL membuat siswa tidak hanya memperoleh pengetahuan di bidang sains, tetapi juga mengembangkan pemahaman yang lebih mendalam tentang teknologi untuk keberlanjutan, isu-isu lingkungan, dan juga mengasah keterampilan abad-21 antara lain keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi.

Kedua, pemanfaatan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL difokuskan pada materi yang berpusat pada siswa dan relevan secara kontekstual. Perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL dirancang agar mudah digunakan, sehingga peserta didik dapat memahami lingkup materi dan tugas proyek yang diberikan bersama kelompok secara efektif tanpa hanya bergantung pada penjelasan guru. Selain itu, materi

dan latihan disusun secara kontekstual, misalnya menggabungkan latihan dengan sumber informasi dari buku siswa dan dalam bentuk link youtube untuk memperkuat pemahaman akan materi “energi yang bergerak” dan proyek “ kincir air sederhana” yang dikerjakan secara berkelompok. Latihan dikerjakan berdasarkan petunjuk yang ada yang bertujuan untuk memberikan informasi yang diperlukan peserta didik. Selain itu perangkat pembelajaran materi dan rancangan secara khusus disesuaikan dengan kehidupan siswa. Penelitian yang dilakukan oleh Simbolon dan Tapilouw (2015) dan Yuliana et al. (2024) menunjukkan bahwa penerapan perangkat pembelajaran kontekstual dalam pendidikan sains membantu peserta didik memperkuat konsep ilmiah mereka dan meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi mereka. Pengembangan perangkat pembelajaran yang mengintegrasikan STEM-PjBL harus akurat dan efisien agar dapat memaksimalkan hasil belajar peserta didik (Hakiki et al., 2022). Oleh karena itu, pemanfaatan sumber belajar efektif dan efisien yang memanfaatkan lingkungan sekitar dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi secara signifikan, sebagaimana dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh Rahmawati (2016) dan Fitriyani (2019).

Ketiga, perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL dikembangkan terintegrasi dengan teknologi. Berbagai media visual dan representasi konsep seperti gambar, *link* video, dan tabel-tabel penugasan untuk menciptakan pengalaman belajar yang menarik dan mudah diakses oleh peserta didik. Penggabungan teknologi untuk materi menjadi lebih menarik dan juga mudah diakses di lokasi manapun. Penggunaan media visual dalam pembelajaran telah terbukti meningkatkan hasil belajar dengan menyajikan informasi dengan cara yang lebih menarik dan interaktif (Layyinah et al., 2024). Perangkat pembelajaran STEM-PjBL menggabungkan berbagai representasi dalam pembelajaran mendorong siswa untuk terlibat bersama dalam perencanaan, penalaran, pelaksanaan, dan evaluasi, yang memungkinkan peserta didik untuk lebih memahami pokok bahasan. Implementasi teknologi dalam pembelajaran berbasis STEM-PjBL memungkinkan simulasi fenomena alam, yang memberikan representasi yang lebih akurat dibandingkan dengan metode pembelajaran konvensional menggunakan buku teks (Muslim et al., 2023). Selain itu, penelitian oleh Dwi et al. (2024) menyoroti pentingnya keterlibatan aktif peserta didik dan pemahaman materi melalui perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL yang meningkatkan minat peserta didik dalam proses pembelajaran. Adanya minat atau ketertarikan terhadap pembelajaran membuat siswa lebih bersemangat, fokus, dan mengupayakan untuk memahami pembelajaran (Hidi & Renninger, 2006: 113).

Keempat, pengembangan pertanyaan untuk mengukur keterampilan berpikir kritis peserta didik melampaui sekadar pertanyaan tentang ingatan mereka. Sebaliknya, ia menggabungkan rangsangan dalam memahami tahapan menganalisis dan mengaplikasikan konsep serta sampai pada tahap mengevaluasi produk yang berhubungan dengan kehidupan sehari-hari peserta didik. Pengembangan lembar observasi untuk keterampilan kolaborasi dikembangkan berdasarkan indikator yang dimulai dari kemampuan berkomunikasi memberi ide, saran atau solusi sampai pada

tahap menghargai pendapat teman dengan ditunjukkan oleh perilaku, mendengarkan dan menghargai pekerjaan teman. Keterampilan kolaborasi mencakup aspek yang berhubungan erat dengan keterampilan siswa dalam hal sosial dan emosinya (Sari et al., 2022). Proses pembuatan instrumen penilaian sangat penting untuk memilih stimulus yang kontekstual dan menarik (Putranta & Supahar, 2019).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa materi pembelajaran “energi yang bergerak”, yang menggunakan berbagai bentuk representasi dan dibangun di atas fondasi peningkatan keterampilan abad-21, secara pengaruh meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi peserta didik. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Subagyo et al. (2021) dan Lisetiawati (2023).

Penelitian dan pengembangan ini telah berhasil menghasilkan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL yang layak dan praktis digunakan oleh siswa kelas IV SD dengan kriteria “sangat valid”. Perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL terbukti berpengaruh terhadap keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi siswa. Hasil penelitian ini bermanfaat bagi para guru sebagai pedoman dalam mengembangkan perangkat pembelajaran yang mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi siswa. Guru diharapkan mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL apabila akan meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan keterampilan kolaborasi siswa. Contoh perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL yang dihasilkan pada penelitian ini dapat menjadi contoh bagi guru untuk mengembangkan perangkat pembelajaran pada materi yang berbeda.

Keterbatasan Penelitian

Perangkat pembelajaran berbasis STEM-*Project Based Learning* (PjBL) pada materi energi yang bergerak dinyatakan layak digunakan dalam proses pembelajaran, akan tetapi masih ada keterbatasan dalam Penelitian dan Pengembangan ini, yaitu:

1. Perangkat pembelajaran berbasis STEM-*Project Based Learning* (PjBL) tidak mengembangkan instrumen penilaian dan hanya mengembangkan modul ajar dan LKPD saja.
2. Perangkat pembelajaran berbasis STEM-*Project Based Learning* (PjBL) hanya bisa digunakan pada materi-materi yang mengandung muatan sains.
3. Penelitian dan pengembangan ini hanya diterapkan pada materi energi yang bergerak
4. Penelitian dan pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEM-*Project Based Learning* (PjBL) di sekolah dasar mengalami kendala dalam penyediaan fasilitas teknologi, seperti rusaknya/tidak berfungsi nya LCD dan laptop di satu sekolah serta jangkauan sinyal yang terbatas. hal tersebut berakibat pada penambahan waktu untuk memperbaiki dan mengatasinya.
5. Penelitian dan pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEM-*Project Based Learning* (PjBL) di sekolah dasar mengalami kendala dalam hal kemampuan membaca sebagian kecil siswa yang belum lancar. Hal tersebut berakibat pada waktu yang digunakan dalam kegiatan pembelajaran bertambah lama, karena harus mendampingi agar peserta didik memahami dan mengerjakan tugas yang diberikan .
6. Keterbatasan waktu yang peneliti hadapi berakibat pada terbatasnya aspek sikap sains

yang diujikan. Peneliti menyadari bahwa untuk dapat meneliti seluruh aspek keterampilan kolaborasi dibutuhkan waktu yang lama.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan pembelajaran berbasis STEM-Project Based Learning (PjBL) terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi siswa SD. Proses pengembangan perangkat menggunakan model four-D (4D), mencakup tahapan define, design, develop, dan disseminate. Validasi ahli dan praktisi menunjukkan perangkat ini "sangat valid" dengan revisi kecil yang mencakup penyempurnaan modul ajar dan LKPD. Uji coba perangkat pada siswa kelas IV SDN 37 Kendo menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi, dengan rata-rata skor posttest yang lebih tinggi pada kelas eksperimen dibandingkan kelas kontrol, didukung oleh nilai Cohen's d kategori "besar." Penyebaran perangkat dilakukan melalui Kelompok Kerja Guru (KKG) untuk meningkatkan penerapan perangkat di sekolah lain. Saran yang diberikan mencakup pelatihan guru, pengadaan sarana pendukung, dan pengembangan lebih lanjut perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL untuk materi IPAS lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhiati, F., Triwoelandari, R., & Nawawi, M. K. (2023). Pengembangan LKS Pembelajaran IPA Berbasis STEM untuk Meningkatkan Kemampuan Berkolaborasi Siswa Kelas 5 Sekolah Dasar. *ELSE (Elementary School Education Journal): Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Sekolah Dasar*, 7(1). <https://doi.org/10.30651/else.v7i1.13784>
- Afikah, A., Rohaeti, E., Jumadi, J., & Perdana, R. (2023). Student's higher-order thinking skills and collaboration skills in online learning during pandemic. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 12(1), 23–33. <https://doi.org/10.11591/ijere.v12i1.23797>
- 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. <http://dx.doi.org/10.21831/jipi.v2i2.8561>
- Ariyana, Y., Pudjiastuti, A., Bestary, R., & Zamroni, Z. (2018). Buku pegangan pembelajaran berorientasi pada keterampilan berpikir tingkat tinggi: program peningkatan kompetensi pembelajaran berbasis zonasi. Kemdikbud. <http://repositori.kemdikbud.go.id/id/eprint/11316>
- Ashidiq, R. M., Winarno, N., Prima, E. C., Widodo, A., & Chang, C. Y. (2024). Investigating the Impact of STEM Learning on Students' Critical Thinking Skills through Hand-Made Projector Activity. *Journal of Science Learning*, 7(2), 187-203. Situs web: <http://ejournal.upi.edu/index.php/jslearning>
- Badan Standar Kurikulum dan Asesmen Pendidikan, K. (2022). Panduan Pembelajaran dan Asesmen Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Menengah. Badan Standar Kurikulum dan Asesmen Pendidikan, Kemdikbudristek.
- Cahyaningsih, F., & Roektingroem, E. (2018). Pengaruh pembelajaran IPA berbasis STEM- PBL terhadap keterampilan berpikir kritis dan hasil belajar kognitif. *Jurnal TPACK IPA*, 7(5), 239-244. <https://journal.student.uny.ac.id/ojs/index.php/ipa>

- Choi, J., Lee, J. H., & Kim, B. (2019). How does learner-centered education affect teacher self- efficacy? The case of project-based learning in Korea. *Teaching and Teacher Education*, 85, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2019.05.005>
- Devi, K. S. (2019). Constructivist Approach to Learning based on the Concepts of Jean Piaget and Lev Vygotsky. *Journal o Indian Education*, 44(4),5–19. <https://n20.ncert.org.in/pdf/publication/journalsandperiodicals/journalofindineducation/JI E-FEB2019.pdf#page=7>
- Dewi, N. N. S. K., Arnyana, I. B. P., & Margunayasa, I. G. (2023). Project based learning berbasis STEM: Meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan hasil belajar siswa. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Profesi Guru*, 6(1), 133-143. <https://journal.student.uny.ac.id/ojs/index.php/ipa>
- Dewi, K. P. K., & Parmiti, D. P. (2022). Dampak Model Two Stay Two Stray terhadap Keterampilan Keterampilan kolaborasi dan Hasil Belajar IPS Kelas V. *MIMBAR PGSD Undiksha*, 10(1), 33-38.
- Dwi, F. R., Pasaribu, F. T., & Ramalisa, Y. (2024). Pengembangan Modul Elektronik Berbasis PjBL-STEM dengan Bantuan Film Animasi untuk Meningkatkan Minat Belajar Matematika Siswa SMA. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 14(1), 67-78. <https://doi.org/10.37630/jpm.v14i1.1472>
- Dwiningsih, K., Maharani, D. K., Savitri, D., Alya, A., Isaloka, I., & Erlangga, M. D. (2023). Kurikulum merdeka berbasis project based learning (pjbl) bagi guru sma pondok pesantren bayt al-hikmah. *MARTABE : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 6, 1920–1933. <https://doi.org/10.31604/jpm.v6i6.1920-1933>
- Florea, N. M., & Hurjui, E. (2015). Critical Thinking in Elementary School Children. *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 180(November 2014), 565–572. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.161>
- Fitri, S. (2017). Pengembangan Media Pembelajaran Sains Berbasis Kontekstual pada Materi Sumber Energi Kelas III Sekolah Dasar. *Jurnal Penelitian Universitas Jambi*. <https://repository.unja.ac.id/id/eprint/1258>
- Fitriyah, A., & Ramadani, S. D. (2021). Pengaruh pembelajaran STEAM berbasis PjBL (Project-Based Learning) terhadap keterampilan berpikir kreatif dan berpikir kritis. *Jurnal Inspiratif Pendidikan*, 10(1), 209-226. <https://doi.org/10.24252/ip.v10i1.17642>
- Gandi, A. S. K., Haryani, S., & Setiawan, D. (2021). The Effect of Project-Based Learning Integrated STEM Toward Critical Thinking Skill Article Info. *Journal of Primary Education*, 10(1), 18–23. <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/jpe/article/view/33825>
- Greenstein, L. M. (2012). *Assessing 21st century skills: A guide to evaluating mastery and authentic learning*. Corwin Press.
- González-Salamanca, J. C., Agudelo, O. L., & Salinas, J. (2020). Key competences, education for sustainable development and strategies for the development of 21st century skills. A systematic literature review. *Sustainability*, 12(24), 10366. <https://doi.org/10.3390/su122410366>
- Hakiki, F. N., Pambudi, D. S., & Kurniati, D. (2022). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Matematika Model Project Based Learning Terintegrasi Stem Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis. *AKSIOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 11(4), 2579-2592. <https://doi.org/10.24127/ajpm.v11i4.6184>
- Hamidah, H., Rabbani, T. A. S., Fauziah, S., Puspita, R. A., Gasalba, R. A., &

- Nirwansyah, N. (2020). HOTS-Oriented module: project-based learning. SEAMEO QITEP in Language. <http://repositori.kemdikbud.go.id/id/eprint/21381>
- Han, S., Yalvac, B., Capraro, M. M., & Capraro, R. M. (2015). In-service teachers' implementation and understanding of STEM project based learning. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(1), 63-76. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1306a>
- Harasim, L. (2012). *Learning theory and online technologies* (2nd ed.). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203846933>
- Hatuwe, O. S. R., Syobah, S. N., & Idris, H. (2023). Implementation of Project Base-Learning in Improving Critical Thinking Skills in Early Childhood. *ITQAN: Jurnal Ilmu-Ilmu Kependidikan*, 14(1), 53-66. <https://doi.org/10.47766/itqan.v14i1.1543>
- Herlina, A., Nirmala, S. D., & Rahayu, U. Creative thinking and collaborative ability of elementary students with the implementation of the STEM integrated project-based learning model. *EduHumaniora. Jurnal Pendidikan Dasar Kampus Cibiru*, 15(1), 39-50. : <https://doi.org/10.17509/eh.v15i1.50630>
- Hiğde, E., & Aktamiş, H. (2022). The effects of STEM activities on students' STEM career interests, motivation, science process skills, science achievement and views. *Thinking Skills and Creativity*, 43, 101000. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101000>
- Huang, Y.-C. (2021). Comparison and Contrast of Piaget and Vygotsky's Theories. *Proceedings of the 7th International Conference on Humanities and Social Science Research (ICHSSR 2021)*, 554(Ichssr), 28–32. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210519.007>
- Issa HB, Khataibeh A (2021). The effect of using project based learning on improving the critical thinking among upper basic students from teachers' perspectives. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 11(2), 52-57. <https://doi.org/10.17509/eh.v15i1.50630>
- Jolly, A. (2017). *STEM by design: strategies and activities for grades 4-8*. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9781315679976>
- Keane, T., Keane, W. F., & Blicblau, A. S. (2016). Beyond traditional literacy: Learning and transformative practices using ICT. *Education and Information Technologies*, 21, 769-781. <https://doi.org/10.1007/s10639-014-9353-5>
- Kemdikbudristek. (2022). Dimensi, elemen, dan subelemen profil pelajar Pancasila pada kurikulum Merdeka. *Kemdikbudristek*.
- Kemdikbudristek. (2022). *Standar Proses Pada Pendidikan PAUD, Pendidikan Dasar dan Menengah*. *Kemdikbudristek*.
- Kemdikbudristek. (2023). *Rapor Pendidikan* *Kemdikbudristek*. Diunduh tanggal 8 November 2023, situs *Kemdikbudristek*: <https://raporpendidikan.kemdikbud.go.id/login>
- Khoirunnisa, S. I., & Sudibyo, E. (2023). Profil Keterampilan Kolaborasi Siswa SMP dalam Implementasi Model Pembelajaran Kooperatif Tipe STAD. *ScienceEdu*, 6(1), 89-97. <https://doi.org/10.19184/se.v6i1.40152>
- Kilbane, C. R., & Milman, N. B. (2014). *Teaching models: Designing instruction for 21st century learners*. Pearson Higher Ed.
- Krahenbuhl, K. S. (2016). Student-centered Education and Constructivism: Challenges, Concerns, and Clarity for Teachers. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 89(3), 97–105. <https://doi.org/10.1080/00098655.2016.1191311>

- Krajcik, J. S., & Czerniak, C. M. (2018). Teaching science in elementary and middle school: A project-based learning approach. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315205014>
- Larmer, J., Mergendoller, J., & Boss, S. (2015). Setting the standard for project based learning. ASCD.
- Layyinah, S. Q., Sinaga, P., & Amprasto, A. (2024). The Effectiveness of Mobile Learning Teaching Materials for Education on Sustainable Development in Eco-Friendly Technology to Improve Environmental Literacy. *Prisma Sains: Jurnal Pengkajian Ilmu dan Pembelajaran Matematika dan IPA IKIP Mataram*, 12(3), 509-518. <https://doi.org/10.33394/j-ps.v12i3.12004>
- Lazarides, R., Harackiewicz, J., Canning, E., Pesu, L., & Viljaranta, J. (2015). The role of parents in students' motivational beliefs and values. In *Routledge international handbook of social psychology of the classroom* (pp. 53-66). Routledge.
- Lestari, H. D., Rahmawati, Y., & Usman, H. (2024). STEM-PjBL learning model to enhance critical thinking skills of students on magnets, electricity, and technology. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(8), 6027-6037. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i8.8153>
- Lisetiawati, T. (2023). Penerapan Pembelajaran STEM-PjBL Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik SMA Pada Materi Perubahan Lingkungan (Doctoral dissertation, Universitas Pendidikan Indonesia).
- Makbul, M. (2021). Metode pengumpulan data dan instrumen penelitian. <https://doi.org/10.31219/osf.io/svu73>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D. A., Perales-Palacios, F. J., & Vílchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, 1–24. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- Mawaddah, R., Triwoelandari, R., & Irfani, F. (2022). Kelayakan LKS Pembelajaran IPA Berbasis STEM Untuk Meningkatkan Keterampilan Kolaborasi Siswa Sd/Mi. *Jurnal Cakrawala Pendas*, 8(1), 1-14. <https://doi.org/10.31949/jcp.v8i1.1911>
- Muhajirah, M. (2020). Basic of Learning Theory. *International Journal of Asian Education*, 1(1), 37–42. <https://doi.org/10.46966/ijae.v1i1.23>
- Mu"Minah, I. H., & Aripin, I. (2019, November). Implementasi STEM dalam pembelajaran abad 21. In *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan* (Vol. 1, pp. 1495-1503).
- Nemiro, J. E. (2020). Building Collaboration Skills in 4th- to 6th-Grade Students Through Robotics. *Journal of Research in Childhood Education*, 35(3), 351–372. <https://doi.org/10.1080/02568543.2020.1721621>
- Nisah, K., Saminan, Syukri, M., Elisa, & Markisni. (2024). Optimizing of Physics Learning through PjBL-STEM Model to Improve Critical Thinking Skills and Students Responsibility Attitudes. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(4), 1770-1778. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i4.6795>
- Nurfathurrahmah (2012). Pengembangan Perangkat pembelajaran kooperatif tipe Think Phair Share dengan metode resitasi pada materi sistem ekskresi untuk siswa SMA kelas XI. Universitas Negeri Makasar
- Nurmaya, Y., Susilawati, S., Zuhdi, M., & Hikmawati, H. (2021). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Model Inkuiri Terbimbing Pada Materi Alat-Alat Optik Untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep Fisika. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 7(1), 147-154. <https://doi.org/10.31764/orbita.v7i1.3835>

- Octaviani, R., Anas, N., & Lubis, R. (2024). Pengembangan LKPD berbasis STEM untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis di sekolah dasar materi perubahan wujud benda. *Jurnal Multidisiplin Ilmu Akademik*, 1(5), 109-123. <https://doi.org/10.61722/jmia.v1i5.2581>
- Olusegun, S. (2015). Constructivism: A Paradigm for Teaching and Learning. *IOSR Journal of Research & Method in Education (IOSR-JRME)*, 5(6). <https://doi.org/10.9790/7388-05616670>
- Orlich, DC, Harder, RJ, Callahan, RC, Trevisan, MS, & Brown, AH (2010). Strategi pengajaran: Panduan untuk pengajaran yang efektif. Pembelajaran Cengage
- Ornstein, A. C., & Hunkins, F. P. (2017). *Curriculum: Foundations, principles, and issues*. Pearson Higher Ed. <https://lccn.loc.gov/97024347>
- PartamaPutri, P. C. (2021). Profil Keterampilan Kolaborasi Dalam Proses Belajar Kimia Siswa Kelas Xi SMA Negeri 5 Denpasar (Doctoral dissertation, Universitas Pendidikan Ganesha). <http://repo.undiksha.ac.id/id/eprint/7654>
- Prasadi, A. H., Wiyanto, W., & Suharini, E. (2020). The implementation of student worksheet based on STEM (science, technology, engineering, mathematics) and local wisdom to improve of critical thinking ability of fourth grade students. *Journal of Primary Education*, 9(3), 227-237. <https://doi.org/10.15294/jpe.v9i3.37712>
- Purnawanto, A. T. (2023). Pembelajaran berdiferensiasi. *Jurnal Pedagogy*, 16(1), 34-54. <https://jurnal.staimuhblora.ac.id/index.php/pedagogy/article/view/152>
- Putranta, H., & Supahar, S. (2019). Development of physics-tier tests (PysTT) to measure students' conceptual understanding and creative thinking skills: a qualitative synthesis. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 7(3), 747-775. <https://doi.org/10.17478/jegys.587203>
- Ramawati, I. (2016). Pemanfaatan lingkungan sekitar sebagai sumber pembelajaran untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis. *Jurnal Geografi Gea*, 16(1), 66-87. <https://doi.org/10.17509/gea.v16i1.3469>
- Rehman, N., Zhang, W., Mahmood, A., Fareed, M. Z., & Batool, S. (2023). Fostering twenty-first century skills among primary school students through math project-based learning. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 1-12. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01914-5>
- Ridha, M. R., Zuhdi, M., & Ayub, S. (2022). Pengembangan perangkat pembelajaran PJBL berbasis STEM dalam meningkatkan kreativitas fisika peserta didik. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 7(1), 223-228. <https://doi.org/10.29303/jipp.v7i1.447>
- Riyanto, P., & Mudian, D. (2019). Pengaruh aktivitas fisik terhadap peningkatan kecerdasan emosi siswa. *Journal Sport Area*, 4(2), 339-347. [https://doi.org/10.25299/sportarea.2019.vol4\(2\).3801](https://doi.org/10.25299/sportarea.2019.vol4(2).3801)
- Roberts, A., & Cantu, D. (2012, June). Applying STEM instructional strategies to design and technology curriculum. In *PATT 26 Conference; Technology Education in the 21st Century*; Stockholm; Sweden (Vol. 73, pp. 111-118).
- Ruiz-Martín, H., & Bybee, R. W. (2022). The cognitive principles of learning underlying the 5E Model of Instruction. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 21. . <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00337-z>
- Saimon, M., Lavicza, Z., & Dana-Picard, T. (2023). Enhancing the 4Cs among college students of a communication skills course in Tanzania through a project-based learning model. *Education and Information Technologies*, 28(6), 6269-6285.
- Samsudin, M. A., Jamali, S. M., Zain, A. N. M., & Ebrahim, N. A. (2020). The effect of STEM project based learning on self-efficacy among high-school physics students.

- Journal of Turkish Science Education, 17(1), 94-108. .
<https://doi.org/10.1007/s10639-022-11406-9>
- Sandi, G. (2021). Pengaruh pendekatan STEM untuk meningkatkan pemahaman konsep elektroplating, keterampilan berpikir kritis dan bekerja sama. Indonesian Journal of Educational Development (IJED), 1(4), 579-585.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.4559843>
- Sani, R. A. (2014). Pembelajaran saintifik untuk implementasi kurikulum 2013. <https://digilib.unimed.ac.id/id/eprint/1630>
- Santoso, A. M., Primandiri, P. R., Zubaidah, S., & Amin, M. (2021). Improving student collaboration and critical thinking skills through ASICC model learning. Journal of Physics: Conference Series, 1806(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012174>
- Sarwanto, Fajari, S. L. E. W., & Chumdari. (2021). Critical Thinking Skills and Their Impacts Sarwanto Laksmi Evasufi Widi Fajari & Chumdari Faculty of Teacher Training and Education Universitas Sebelas Maret University , Indonesia. Malaysian Journal of Learning and Instruction, 2(2), 161–188.
<https://doi.org/10.32890/mjli2021.18.2.6>
- Schunk, D. H. (2012). Learning theories: an educational perspective (6th ed.). Pearson Education, Inc.
- Sharkins, K., Newton, A., Causey, C., & Ernest, J. M. (2017). Flipping theory: Ways in which children’s experiences in the 21st century classroom can provide insight into the theories of Piaget and Vygotsky. Southeast Asia Early Childhood Journal, 6, 11–18. <https://doi.org/10.37134/saecj.vol6.2.2017>
- Simbolon, E. R., & Tapilouw, F. S. (2015). Pengaruh pembelajaran berbasis masalah dan pembelajaran kontekstual terhadap berpikir kritis siswa SMP. Edusains, 7(1), 97-104. <https://dx.doi.org/10.15408/es.v7i1.1533>
- Sitanggang, R. P., & Haryanto, H. (2023). The influence of project-based learning models on critical thinking ability and basic science learning outcomes. Proceedings Series on Social Sciences & Humanities, 12, 436–444.
<https://doi.org/10.30595/pssh.v12i.831>
- Subagyo, E., Mustaji, M., & Mariono, A. (2021). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Pjbl Dengan Pendekatan STEM Untuk Meningkatkan Keterampilan Kolaboratif. Educate: Jurnal Teknologi Pendidikan, 6(1), 34-41.
<https://doi.org/10.32832/educate.v6i1.3989>
- Sunbanu, H. F., Mawardi, M., & Wardani, K. W. (2019). Peningkatan Keterampilan kolaborasi Siswa Menggunakan Model Pembelajaran Kooperatif Two Stay Two Stray Di Sekolah Dasar. Jurnal Basicedu, 3(4), 2037–2041.
<https://doi.org/10.31004/basicedu.v3i4.260>
- Supardan, Dadang. (2015). Pembelajaran Ilmu Pengetahuan Sosial: Perspektif Filosofi dan Kurikulum. Jakarta: Bumi Aksara
- Supartama, I. (2023). Analisis Motivasi Belajar Siswa Dalam Pembelajaran IPA Dengan Kurikulum Merdeka Di Kelas VII SMP Negeri 2 Singaraja (Doctoral dissertation, Universitas Pendidikan Ganesha). <http://repo.undiksha.ac.id/id/eprint/16784>
- Suranti, N. M. Y., & Wahyuningsih, B. Y. (2023). Project Based Learning dengan Pendekatan STEM pada Pendidikan Sekolah Dasar. Indonesian Journal of Elementary and Childhood Education, 4(4), 141-148. e-ISSN: 2716-3237 p-ISSN: 2721-3943
- Thiagarajan, S., Semmel, D. S., & Semmel, M. I. (1974). Instructional development for

training teachers of exceptional children: a sourcebook. The Council for Exceptional Children.

- Tuerah, R. M., & Tuerah, J. M. (2023). Kurikulum Merdeka dalam Perspektif Kajian Teori: Analisis Kebijakan untuk Peningkatan Kualitas Pembelajaran di Sekolah. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(19), 979-988. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10047903>
- Varas, D., Santana, M., Nussbaum, M., Claro, S., & Imbarack, P. (2023). Teachers' strategies and challenges in teaching 21st century skills: Little common understanding. *Thinking Skills and Creativity*, 48, 101289. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101289>
- Verawati, N., Hikmawati, H., & Prayogi, S. (2020). The effectiveness of inquiry learning models intervened by reflective processes to promote critical thinking ability in terms of cognitive style. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15(16), 212-220. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i16.14687>
- Wahyudi, W. (2024). Implementasi Teams Games Tournament Untuk Meningkatkan Keterampilan Kolaborasi Siswa Kelas Sekolah Dasar. *Scholaria: Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, 14(01), 88-97. <https://doi.org/10.24246/j.js.2024.v14.i01.p88-97>
- Warisno, A. (2022). Konsep mutu pembelajaran dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. *Attractive: Innovative Education Journal*, 4(1), 310-322. <https://doi.org/10.51278/aj.v4i1.442>
- Wijaya, B. (2020). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Ipa Bervisi Sets Dengan Pendekatan Savi Semarang: Qahar Publisher.
- Yaki, A. A. (2022). Fostering Critical Thinking Skills Using Integrated STEM Approach among Secondary School Biology Students. *European Journal of STEM Education*, 7(1), 6. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/12481>
- Zhou, J. (2020). A Critical Discussion of Vygotsky and Bruner's Theory and Their Contribution to Understanding of the Way Students Learn. *Review of Educational Theory*, 3(4), 82. <https://doi.org/10.30564/ret.v3i4.2444>



© 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)