

Model Problem Based Learning Berbantuan Critical Thinking Education Worksheet (CRIT-EDU Sheet) untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

Amelia Sherina Widya Permata ^{1*}, Nisa Rahma Hidayati ², Budi Jatmiko ³

^{1, 2, 3} Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

* amelia22082@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Keterampilan berpikir kritis merupakan kompetensi esensial abad ke-21 yang masih perlu ditingkatkan pada siswa di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas dan konsistensi penerapan model *Problem Based Learning* (PBL) berbantuan media E-LKPD *Critical Thinking Education Worksheet* (CRIT-EDU Sheet) dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa SMA, khususnya pada materi energi alternatif. Penelitian kuantitatif ini menggunakan metode *quasi-experiment* dengan *non-equivalent control group design*. Pemilihan sampel menggunakan teknik *Cluster Random Sampling* yang terdiri dari tiga kelas di SMAN 20 Surabaya: kelas eksperimen, kelas replikasi, dan kelas konvensional, dengan masing-masing berisi 30 siswa. Data dikumpulkan melalui instrumen tes uraian (*pre-test* dan *post-test*) yang valid dan reliabel, kemudian dianalisis menggunakan *N-Gain*, *Paired Sample t-test*, *Welch's t-test* (karena varians tidak homogen), serta *Cohen's d* untuk mengukur *Effect Size*. Hasil penelitian menunjukkan seluruh kelas mengalami peningkatan keterampilan berpikir kritis yang signifikan secara internal ($p < 0,001$). Namun, analisis antar-kelompok membuktikan bahwa kelas eksperimen (rata-rata *N-Gain* 0,77; kategori tinggi) jauh lebih unggul secara signifikan dibandingkan kelas konvensional (rata-rata *N-Gain* 0,39; kategori sedang) dengan nilai $p < 0,001$. Besaran dampak intervensi dikonfirmasi oleh nilai *Effect Size* sebesar 4,91 (kategori sangat besar). Uji beda antara kelas eksperimen dan kelas replikasi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p = 0,435$), yang membuktikan tingginya konsistensi dan keandalan intervensi ini saat direplikasi. Disimpulkan bahwa pembelajaran PBL berbantuan CRIT-EDU Sheet sangat efektif dan konsisten dalam akselerasi keterampilan berpikir kritis siswa pada materi energi alternatif, terlepas dari keterbatasan durasi intervensi yang singkat.

Kata Kunci: KBK, PBL, CRIT-EDU Sheet, Energi Alternatif, Effect Size.

Pendahuluan

Pendidikan yang berkualitas memiliki peran yang penting dalam meningkatkan Sumber Daya Manusia (SDM) yang cerdas, kritis, dan inovatif dari suatu negara (Amelia & Koryati, 2025). Sehingga inovasi di dunia pendidikan penting untuk dapat dikembangkan agar pembelajaran lebih efektif tersampaikan pada siswa. Pembelajaran pada abad ke-21 menekankan pada metode pembelajaran yang lebih berpusat pada siswa (*student centered*) dibandingkan guru (Puspa et al., 2023). Siswa yang lebih terlatih berpikir kritis akan lebih mudah untuk menghadapi masalah dan menganalisis suatu permasalahan hingga menyelesaikan masalah tersebut (Faiziyah & Priyambodho, 2022). Pentingnya keterampilan berpikir kritis siswa juga di dukung oleh pernyataan *World Economic Forum* pada tahun 2022 yang menyatakan bahwa keterampilan berpikir kritis termasuk dalam sepuluh keterampilan berpikir kritis yang dibutuhkan oleh dunia kerja di masa depan.

Kenyataannya kemampuan dasar penalaran dan literasi sains siswa di Indonesia masih perlu ditingkatkan. Berdasarkan laporan resmi dari OECD 2022 terkait hasil PISA 2022 yang telah diikuti oleh 81 negara dan Indonesia berada pada peringkat 71 dengan rata-rata hasil skor 367 poin, sedangkan nilai rata-rata internasional adalah 427. Meskipun PISA tidak mengukur keterampilan berpikir kritis secara spesifik sebagai suatu konstruk namun, salah satu keterampilan yang dibekalkan pada tes PISA adalah reasoning dan argument yang merupakan suatu kemampuan yang melibatkan pemikiran yang logis, penalaran, penarikan kesimpulan, pemeriksaan kebenaran, dan solusi dari permasalahan tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa siswa di Indonesia masih kesulitan dalam mengevaluasi fenomena dan penyelesaian masalah analitis. Kondisi ini juga sejalan dengan hasil pra-penelitian yang dilakukan di SMAN 20 Surabaya, pada pra-penelitian yang dilakukan pada bulan November 2025 menunjukkan bahwa skor rata-rata yang didapatkan oleh siswa SMAN 20 Surabaya sebesar 54,68 poin dari 100 poin dengan jumlah siswa 35 siswa dalam satu kelas.

Instrumen Pra-penelitian yang digunakan berupa tes uraian yang telah diuji validitas isi oleh ahli, yang disusun menggunakan indikator berpikir kritis. Nilai rata-rata yang didapatkan ini jauh dari nilai minimum keterampilan berpikir kritis yaitu sebesar 75 sesuai dengan nilai KKM sekolah. Keterampilan berpikir kritis siswa di rasa cukup rendah untuk itu perlu adanya peningkatan keterampilan berpikir kritis dengan menggunakan model pembelajaran interaktif agar dapat meningkatkan minat belajar siswa di kelas (Alifa et al., 2024). Keterampilan berpikir kritis siswa penting untuk di tingkatkan agar SDM Indonesia dimasa mendatang dapat bersaing dimasa mendatang. Selain itu peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa khususnya pada bidang fisika memiliki suatu tujuan untuk membentuk manusia yang memiliki kemampuan pemecahan masalah yang kompleks dengan menggunakan pengetahuan yang ada dalam kehidupan sehari-hari (Purwaningsih Henny, 2024). Untuk itu pembelajaran fisika harus diberikan dengan contoh yang lebih kontekstual dalam kehidupan sehari-hari agar lebih mudah di terima oleh siswa.

Indikator keterampilan berpikir kritis yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 4 indikator yang diambil dari Facione yaitu *Interpretation (Interpretasi)*, *Analysis (Analisis)*, *Inference (Inferensi)* dan *Evaluation (Evaluasi)* (Putri Nadila Aisyah, 2023). Keempat indikator ini dipilih karena merupakan proses kognitif yang paling relevan dengan pemecahan masalah sains, siswa diminta untuk mampu menginterpretasikan suatu fenomena, menganalisis variabel yang terlibat, menarik kesimpulan dari suatu data, serta mengevaluasi argumen atau solusi. Dalam instrumen tes, indikator tersebut diletakkan melalui soal-soal uraian berbasis kasus nyata. Untuk itu perlu ada peningkatan inovasi dalam proses pembelajaran di sekolah, hal ini dapat dilakukan agar guru dapat sekaligus membekalkan keterampilan berpikir kritis siswa. Sehingga perlu ada pemilihan model dan metode pembelajaran yang dapat membekalkan keterampilan berpikir kritis dalam pembelajaran. Salah satu model pembelajaran yang dapat digunakan untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis adalah PBL (Kusnandar et al., 2024).

Problem Based Learning (PBL) merupakan pembelajaran yang menggunakan suatu permasalahan nyata sebagai bahan analisis dalam mencari sebuah solusi dari suatu permasalahan yang ada atau dapat disebut dengan kontekstual (Lorencia & Jatmiko, 2021). Sehingga contoh permasalahan yang digunakan pada pembelajaran PBL merupakan contoh permasalahan nyata yang ada dalam kehidupan sehari-hari (Hidayatullah Nurul & Dwikoranto, 2019). Selain menggunakan contoh permasalahan nyata pembelajaran model PBL juga merupakan pembelajaran yang menjadikan siswa sebagai partisipan yang memiliki peran aktif dalam pembelajaran, sehingga pembelajaran tidak hanya berpusat kepada guru, sehingga guru hanya berperan sebagai fasilitator dalam pembelajaran (Wahyuni et al., 2023). PBL memiliki beberapa fase dalam pembelajaran atau yang disebut dengan sintaks PBL. Sintaks atau Langkah-

langkah dalam penerapan PBL dirancang dengan tujuan untuk membantu siswa agar dapat lebih sistematis dalam memahami dan menyelesaikan suatu permasalahan (Rohmah et al., 2021), berikut ini merupakan sintaks yang digunakan dalam pembelajaran dengan model PBL (1) Orientasi Siswa terhadap masalah (2) Mengorganisasi siswa untuk belajar (3) Membimbing penyelidikan kelompok maupun individu (4) Penyajian hasil karya (5) Analisis dan evaluasi proses penyelesaian masalah (Ardianti et al., 2021).

Pembelajaran di sekolah selain menggunakan model pembelajaran juga perlu menggunakan bahan ajar yang menunjang proses pembelajaran. Bahan ajar yang sering dan selalu digunakan pada pembelajaran adalah Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD). Namun penggunaan LKPD ini masih memiliki kekurangan dalam keefektifan pembelajaran, kekurangan ini dapat dilihat dalam segi tampilan, isi, dan kepraktisan (Silitonga & Purba, 2024) Sehingga perlu adanya inovasi yang diberikan dalam LKPD yang dipakai oleh siswa di sekolah, Salah satunya dengan menggunakan media elektronik atau yang sering disebut dengan E-LKPD, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Dwiputri et al., 2022). Dimana siswa cenderung lebih menyukai penggunaan IT sebagai media belajar interaktif yang mereka pakai di kelas. Tentunya dengan diawasi oleh guru yang mengajar, sehingga penggunaan gadget atau HP dapat lebih terkontrol dan tidak di salah gunakan pada saat pembelajaran. Untuk itu penggunaan E-LKPD akan lebih baik diajarkan dengan menggunakan model belajar PBL pada materi energi alternatif karena lebih kontekstual yang diharapkan dapat membentuk siswa untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa.

Sehingga inovasi E-LKPD yang akan diberi nama *Critical Thinking Education Worksheet* (CRIT-EDU Sheet) dapat diharapkan menyediakan ruang bagi siswa untuk terlibat secara aktif di dalam pembelajaran. Pada dasarnya PBL merupakan model pembelajaran yang memiliki fokus pada penyelesaian masalah secara praktis dan dapat mendorong siswa untuk lebih aktif dalam pembelajaran (Munawaroh & Emiliannur, 2024). Untuk itu diharapkan pembelajaran PBL dengan berbantuan CRIT-EDU Sheet dapat memberikan kesempatan kepada siswa agar dapat memahami konsep dengan menerapkan ilmu yang mereka dapatkan dalam situasi yang lebih relevan dengan kehidupan sehari-hari (Burnama & Hariyono, 2024). Karena itu penggunaan platform digital berupa liveworksheet dapat membuat CRIT-EDU Sheet dapat lebih dikemas dan lebih interaktif dengan adanya video pembelajaran, gambar, dan pertanyaan yang dapat memancing diskusi dan dapat melatih keterampilan berpikir kritis siswa (Mukti & Medriati, 2018). Selain dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa penggunaan E-LKM atau CRIT-EDU Sheet ini juga dapat membantu guru dalam melakukan kegiatan pembelajaran di kelas (Ramadhani, 2025).

Penelitian ini mengacu pada penelitian terdahulu yang telah ada seperti pada penelitian (Burnama & Hariyono, 2024) dan (Miranda et al., 2024) yang telah mengembangkan E-LKPD berbasis PBL untuk melatih keterampilan berpikir kritis, Namun, kelemahan dari media yang sudah ada Adalah kurangnya integrasi spesifik antara fitur digital dengan indikator berpikir kritis secara langsung. Untuk itu pengembangan E-LKPD interaktif dengan nama CRIT-EDU Sheet dengan menggunakan platform liveworksheet yang terintegrasi dengan sintaks PBL pada materi energi alternatif menggunakan desain fitur yang dirancang khusus untuk memberikan keempat indikator facione dalam setiap fase PBL. Model pembelajaran PBL merupakan model penyampaian penyajian suatu permasalahan yang membuat siswa dapat bertukar informasi akan sesuai dengan isi CRIT-EDU Sheet yang menggunakan model video pembelajaran sebagai permasalahan awal yang akan didiskusikan oleh siswa (Mutmainna et al., 2025).

Sehingga tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendeskripsikan peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa dengan menggunakan model pembelajaran PBL berbantuan CRIT-EDU Sheet

pada materi energi alternatif di kelas X SMA yang adapat diharapkan lebih kontekstual dan lebih mudah diterima oleh siswa. Dengan keterbaruan dari penelitian ini Adalah dengan menggabungkan model E-LKM berupa *Critical Thinking Education Worksheet* dengan model pembelajaran PBL pada materi energi alternatif. Penggunaan CRIT-EDU Sheet akan dirancang dengan efektif agar siswa dapat langsung menjawab pada E-LKPD yang telah diberikan dan guru mendapatkan jawaban yang telah dikerjakan oleh siswa di sekolah. Untuk itu penggunaan model PBL dengan berbantuan CRIT-EDU Sheet akan dirancang untuk membekalkan keterampilan berpikir kritis siswa SMA. Untuk itu tujuan penelitian ini Adalah untuk menguji signifikansi peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa melalui analisis N-Gain dan Uji t-berpasangan serta uji t-independen dengan menggunakan model pembelajaran PBL benbantuan E-LKPD yaitu CRIT-EDU Sheet pada materi energi alternatif di kelas X SMA.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian quasi-experiment. Desain yang digunakan Adalah *non-equivalent control group design* dengan melibatkan pengukuran *pre-test* dan *post-test*. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan Teknik cluster random sampling, di mana terpilih tig akelas dari populasi siswa kelas X SMAN 20 Surabaya, dengan kelas X-1 sebagai kelas eksperimen, kelas X-5 sebagai kelas replikasi, dan kelas X-2 sebagai kelas konvensional. Masing-masing kelas terdiri dari 30 siswa, dimana tujuan diadakan kelas replikasi digunakan untuk mendukung dan memperkuat konsistensi hasil penelitian pada kelas eksperimen. Pemetaan kelas dan perlakuan yang akan digunakan (Sugiyono, 2017) dapat dilihat pada Table 1 berikut ini.

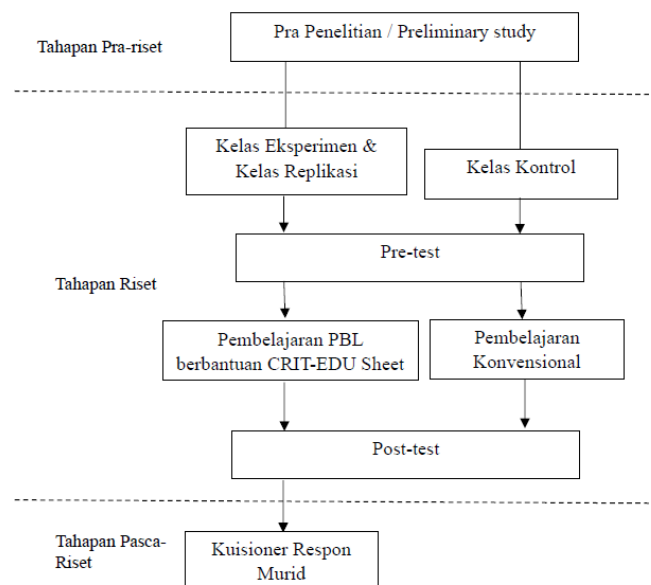
Tabel 1. Desain Penelitian

Kelas	Pre-test	Perlakuan	Post-test
Eksperimen	O1	X1	O2
Replikasi	O1	X1	O2
Konvensional	O1	X2	O2

Pembelajaran yang dilakukan pada kelas eksperimen dan kelas replikasi akan dilakukan sebanyak satu kali pertemuan dengan durasi waktu 3 x 45 menit menggunakan model PBL berbantuan CRIT-EDU Sheet, sedangkan untuk pembelajaran pada kelas konvensional akan dilakukan dengan menggunakan model konvensional yang disediakan oleh sekolah. Meskipun perlakuan pembelajaran hanya dilaksanakan satu kali pertemuan potensi adanya *testing effect* pada penelitian ini telah diminimalisir dengan merancang instrument *pre-test* dan *post-test* yang berbeda dengan tingkat kesulitan yang telah disamakan. Selain itu desain CRIT-EDU Sheet telah dirancang memberikan bimbingan secara terstruktur sehingga, siswa akan dipaksa secara langsung untuk melatih indikator interpretasi, analisis, inferensi, dan evaluasi secara langsung selama proses pembelajaran. Sehingga dapat dipastikan, bahwa perubahan skor *pre-test* dan *post-test* yang telah dilakukan dapat dengan tepat menginterpretasikan peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa.

Sebelum dilakukan model pembelajaran siswa akan diberikan soal *post-test* terlebih dahulu, tujuan dari tes ini adalah untuk mengukur kemampuan awal siswa sebelum diberikan perlakuan. Setelah itu akan diberikan perlakuan sesuai dengan kelas yang ditentukan, dan akan diberikan nilai *post-test* sebagai hasil dari peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa. Penelitian ini akan dilakukan pada siswa SMA kelas X (Sepuluh) di SMAN 20 Surabaya, penelitian dilakukan pada bulan April 2026 dan dilakukan dengan menggunakan tiga kelas yang ditentukan secara random untuk menentukan sampel dari populasi yang ada di sekolah tersebut. Penelitian ini

akan dilakukan dengan tahapan berupa pra-penelitian atau preliminary study yang bertujuan untuk mengetahui tingkat keterampilan berpikir kritis siswa sebagai bahan acuan penelitian agar dapat segera menindak lanjuti penelitian yang akan dilakukan, setelah itu penelitian akan dilanjutkan pada tahap riset dengan susunan kelas seperti pada Tabel 1. Terakhir yaitu tahap pasca riset untuk melihat respon siswa setelah dilakukan pembelajaran di kelas. Berikut ini merupakan prosedur yang dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Tahapan-Tahapan Penelitian

Tahapan riset perlakuan kelas replikasi sama dengan kelas eksperimen dengan menggunakan pembelajaran PBL berbantuan CRIT-EDU Sheet. Penggunaan kelas replikasi bertujuan untuk membuktikan bahwa kelas eksperimen atau model pembelajaran dengan model PBL berbantuan CRIT-EDU Sheet efektif dalam peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa dibandingkan dengan menggunakan model pembelajaran konvensional. Metode pengumpulan data yang akan dilakukan yaitu dengan menggunakan nilai *pre-test* dan *post-test* untuk mengukur peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa. Instrumen es yang digunakan berupa tes tertulis berbentuk uraian dengan jumlah butir soal sebanyak 16 butir soal. Setiap 4 butir soal mewakili satu indikator keterampilan berpikir kritis siswa penilaian *pre-test* dan *post-test* menggunakan rubrik analitik dengan skala skor 0-4 untuk setiap butir soal.

Keterampilan berpikir kritis siswa dianggap meningkat ketika nilai N-Gain antara hasil *pre-test* dan post test minimal berkategori sedang, dan nilai uji t-berpasangan menunjukkan bahwa $H_0 \geq 0,05$ ditolak sehingga $H_1 < 0,05$ diterima. Dan efektivitas dari model pembelajaran PBL berbantuan CRIT-EDU Sheet terbukti jika nilai uji t-independen antara kelas eksperimen dan kelas replikasi menunjukkan bahwa $H_0 \geq 0,05$ diterima dan $H_1 < 0,05$ ditolak, sedangkan nilai uji t-independen untuk kelas eksperimen dan kelas replikasi menunjukkan bahwa $H_0 \geq 0,05$ ditolak dan $H_1 < 0,05$ diterima. Penolakan H_0 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara nilai *pre-test* dan *post-test* pada setiap kelas, sedangkan penolakan H_0 menunjukkan tidak adanya perbedaan hasil dari setiap kelas yang di ujikan. Sebelum dilakukan uji t-berpasangan dan uji-t independent perlu dilakukan uji Normalitas (Uji Pra-syarat) dan uji homogenitas (Uji Variasi). Instrumen *pre-test* dan pos-test yang digunakan terlebih dahulu akan dilakukan uji validitas dengan melibatkan 3 orang ahli dengan 2 orang dosen Prodi S-1 Pendidikan Fisika dan Guru Fisika SMAN 20 Surabaya. Validitas dilakukan dengan menggunakan lembar validasi yang

nantinya akan dinilai oleh validator, Perhitungan validasi dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$Skor = \frac{Total\ Modus}{Jumlah\ Aspek}$$

Validasi yang dilakukan oleh validator akan dinilai dengan menggunakan skala likert antara 1 (Sangat Tidak Valid), 2 (Tidak Valid), 3 (Valid), 4 (Sangat Valid) merujuk pada pedoman Sugiyono (2017). Sehingga skor minimal yang harus didapatkan untuk menunjukkan bahwa perangkat sudah dinyatakan valid untuk digunakan yaitu mendapatkan rata-rata skor minimal 3. Penggunaan 3 validator ahli ini secara metodologis merujuk pada standar Content Validity Ration (CVR) oleh yang menyatakan bahwa 3 ahli Adalah jumlah panel minimum yang dapat diandalkan untuk menilai kesesuaian esensi butir soal (Lawshe, 1975). Selain uji Validitas perlu dilakukan uji reliabilitas dengan tujuan untuk mengukur kestabilan dari instrumen *pre-test* dan *post-test* yang digunakan. Instrumen dapat dinyatakan reliabel jika $0,06 \leq \alpha \leq 0,1$. Uji reliabilitas dilakukan dengan menggunakan aplikasi SPSS, jika nilai $\alpha < 0,06$ maka perangkat dinyatakan tidak reliabel.

Hasil

Data yang didapatkan dan akan dilakukan analisis berupa data dari hasil nilai *pre-test* dan *post-test* yang telah dikerjakan oleh siswa pada saat penelitian. Sebelum dilakukan pengambilan data, instrumen tes terlebih dahulu diuji validitas dan reliabilitasnya. Uji validitas dilakukan oleh tiga orang validator ahli yang terdiri dari dua orang dosen S1-Pendidikan Fisika UNESA dan seorang guru Fisika di SMAN 20 Kota Surabaya. Hasil validasi dapat dilihat pada table 2 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Uji Valisitas Instrumen Pre-test dan Post-test

	Pre-test	Post-test
Skor rata-rata validasi	3,51	3,55
Kategori	Sangat Valid	Sangat Valid

Proses validasi dilakukan dengan memperhatikan aspek-aspek dalam instrument yang digunakan. Validitas yang sudah dilakukan menyatakan bahwa instrumen *pre-test* dan *post-test* layak digunakan untuk mengukur keterampilan berpikir kritis siswa SMA pada penelitian ini. Selain menggunakan uji validitas perlu dilakukan uji reliabilitas yang nantinya bertujuan untuk mengukur kestabilan penilaian pada instrumen yang digunakan. Uji reliabilitas dilakukan dengan menggunakan formula *Cronbach's Alpha* berbantuan SPSS yang dapat dilihat pada table 3.

Tabel 3. Hasil Uji Reliabilitas Instrumen Pre-test dan Post-test

Reliability Statistics			
Instrumen Pre-test		Instrumen Post-test	
<i>Cronbach's Alpha^a</i>	<i>N of Items</i>	<i>Cronbach's Alpha^a</i>	<i>N of Items</i>
.873	16	.901	16

Tabel 3. diketahui bahwa nilai reliabilitas untuk instrumen *pre-test* dan *post-test* memiliki nilai $\alpha \geq 0,60$ ini menunjukkan bahwa instrument sudah reliabel dan dapat digunakan dalam penelitian, karena kedua koefisien tersebut berada jauh di atas ambang batas standar keandalan ($\geq 0,60$). Setelah instrumen yang akan digunakan sudah memenuhi nilai validitas dan reliabilitas dapat dilakukan penelitian. Pada penelitian ini instrumen *pre-test* digunakan untuk menilai kemampuan awal siswa. Sedangkan untuk instrumen *post-test* akan digunakan untuk menilai peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa. Setelah mendapatkan nilai *pre-test* dan *post-test* kemudian dilakukan uji untuk melihat peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa pada setiap

perlakuan. Nilai yang didapatkan pada penelitian yang telah dilakukan diolah dengan menggunakan uji t-berpasangan dan uji t-independen, dengan nilai *pre-test* dan *post-test* diolah dengan mencari nilai N-Gain yang telah di dapatkan oleh siswa. Hasil dari nilai *pre-test* dan *post-test* yang didapatkan dihitung untuk mendapatkan nilai N-Gain pada setiap kelas baik itu untuk kelas eksperimen, kelas replikasi, maupun kelas konvensional. Berikut ini merupakan rata-rata nilai N-gain yang didapatkan oleh masing-masing kelas ditunjukkan pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Rata-rata Nilai Pre-test, Post-test, dan Nilai N-Gain Setiap Kelas

	Eksperimen	Replikasi	Konvensional
Rata-rata <i>Pre-test</i>	42,12	43,92	42,79
Rata-rata <i>Post-test</i>	86,83	46,43	65,01
N-Gain	0,78	0,76	0,39
Kategori	Tinggi	Tinggi	Sedang

Nilai rata-rata yang diperoleh pada setiap kelas menunjukkan bahwa terdapat peningkatan keterampilan berpikir kritis baik pada kelas eksperimen, kelas replikasi, dan kelas konvensional. Namun, pada kelas eksperimen dan kelas replikasi peningkatan nilai *pre-test* dan *post-test* masuk dalam kategori tinggi, sedangkan untuk kelas konvensional masuk pada kategori sedang. Sebelum melakukan uji signifikansi perbedaan tersebut dilakukan uji normalitas dan homogenitas terlebih dahulu. Dari hasil nilai N-Gain yang telah di dapatkan untuk melanjutkan menghitung uji t-berpasangan dan uji t-independen perlu dilakukan uji normalitas dan homogenitas dengan tujuan untuk melihat apakah data berdistribusi normal dan homogen pada setiap kelas. Uji ini juga dilakukan dengan menggunakan nilai N-gain untuk mengambil Keputusan apakah data akan diuji menggunakan uji non parametrik atau menggunakan uji parametrik. Uji homonitas dan normalitas dilakukan dengan menggunakan aplikasi IBM SPSS Statistic 26, Hasil dari uji normalitas dapat dilihat pada Tabel 5. dibawah ini.

Tabel 5. Hasil Uji Normalitas Nilai N-Gain

Kelas		Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.
N-Gain	Eksperimen	.971	30	.574
	Replikasi	.924	30	.834
	Konvensional	.969	30	.521

Uji Normalitas ini bertujuan untuk melihat apakah nilai N-Gain yang didapatkan sudah berdistribusi normal atau belum berdistribusi normal. Uji yang digunakan menggunakan uji *Shapiro-Wilk*. Pada Tabel 5. dapat dilihat bahwa pada pengujian *Shapiro-Wilk* setiap kelas mendapatkan nilai signifikansi lebih dari 0,05 sehingga dapat dinyatakan bahwa data yang ada berdistribusi normal atau H_0 diterima. Dan dapat dilanjutkan untuk uji homogenitas, uji homogenitas dapat di lihat pada Tabel 6. di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Uji Homogenitas Nilai N-Gain pada Tiap Kelas

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Hasil Belajar	Based on Mean	.757	2	86	.001

Uji Homogenitas ini dilakukan karena digunakan untuk melihat persebaran sampel dari populasi yang diinginkan apakah sudah homogen atau tidak. Pengujian Homogenitas nilai N-Gain dilakukan dengan menggunakan aplikasi IBM SPSS Statistic 26. Nilai dari Tabel 6. menunjukkan bahwa nilai signifikansi dari Based on Mean sebesar 0,001 sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak dan data sample tidak homogen homogen karena nilai $p < 0,05$. Karena hasil homogenitas tidak memenuhi asumsi maka peengujian beda menggunakan penyesuaian penafsiran pada baris *equal variances not assumed (Welch's t-test)*

Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis

Pengujian hipotesis dilakukan hipotesis dilakukan dalam dua tahap, yaitu dengan uji t-berpasangan untuk melihat perubahan nilai *pre-test* dan *post-test* pada masing-masing kelas. Dan uji t-independen untuk menguji efektivitas intervensi antar kelas. Hasil uji t-berpasangan menunjukkan adanya peningkatan keterampilan berpikir kritis yang signifikan secara statistik pada ketiga kelas ($p < 0,001$). Nilai *Mean Difference* yang bernilai negatif (misalnya -44,79 pada kelas eksperimen) menunjukkan arah pengurangan (*pre-test* dikurangi *post-test*). Tanda negatif ini justru membuktikan bahwa rata-rata skor *post-test* jauh lebih besar secara signifikan dibandingkan skor *pre-test*. Besarnya peningkatan ini terbukti paling menonjol pada kelas eksperimen dan replikasi. Untuk mengetahui hasil IBM SPSS Statistic 26 didapatkan nilai uji t-berpasangan dengan menggunakan SPSS seperti pada Tabel 7. di bawah ini.

Tabel 7. Hasil Uji t-Berpasangan

		Paired Differences						Significance		
		Mean	Std.Deviation	Std.Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	One-Sided p	Two-Sided p
					Lower	Upper				
Pair 1	Pre-test Eksperimen-Post-test Eksperimen	-44.79	8.32453	1.51984	-47.90	-41.68	-29.47	29	<,001	<,001
Pair 2	Pre-test Replikasi-Post-test Relikasi	-42.52	4.93577	.90114	-44.36	-40.67	-47.18	29	<,001	<,001
Pair 3	Pre-test Konvensional-Post-test Konvensional	-22.22	4.25924	.77763	-23.81	-20.63	-28.57	29	<,001	<,001

Uji t-berpasangan yang dilakukan menggunakan nilai *pre-test* dan *post-test* sebagai penentu apakah terdapat peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa pada setiap kelas, sehingga uji ini harus memperhatikan nilai *mean* dan simpangan baku dari masing-masing kelas. Untuk uji ini ketika H_0 0,05 ditolak dan H_1 diterima berarti terdapat peningkatan keterampilan berpikir kritis yang signifikan pada hasil belajar siswa. Dari gambar 1.2 yang sudah ada dapat disimpulkan bahwa terdapat peningkatan keterampilan berpikir kritis dikarenakan terdapat peningkatan hasil dari *pre-test* dan *post-test*. Hal ini ditunjukkan oleh nilai signifikansi $< ,001$ yang berarti bahwa nilai H_0 ditolak, ketika nilai H_0 0,05 ditolak berarti nilai H_1 diterima.

Sehingga terdapat peningkatan keterampilan berpikir kritis pada tiap kelas baik kelas eksperimen, kelas replikasi, dan kelas konvensional. Namun untuk hasil peningkatan dapat dilihat dari data yang ada pada gambar 1.2 bahwa kelas eksperimen dan kelas replikasi memiliki peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan kelas konvensional ditinjau dari nilai mean pada kelas replikasi sebesar 22,22 lebih kecil dibandingkan kelas eksperimen dan kelas replikasi. Untuk menyimpulkan keefektifan perlakuan secara definitif, analisis antar kelompok menggunakan uji berupa uji t-independen sebagai dasar utama. Perbandingan efektivitas dilakukan antara kelas eksperimen terhadap kelas konvensional. Yang mengacu pada baris equal variances not assumed, hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan peningkatan yang cukup signifikan antara kedua kelas. Uji t-independen ini akan dilakukan dengan menggunakan nilai N-Gain dari tiap kelas, berikut ini adalah gambar hasil uji t-independen antara kelas eksperimen dan kelas konvensional yang dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Uji t-Independen Kelas Eksperimen dan Kelas Konvensional

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	Df	One-Sided p	Two-Sided p	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
N_Gain	Equal Variances assumed	11.86	.001	19.13	58	<.001	<.001	.38432	.02009	.3441	.4245
	Equal Variances not assumed			19.13	44.6	<.001	<.001	.38432	.02009	.3439	.4248

Uji t-Independen menggunakan nilai N-Gain kelas Eksperimen dan kelas Konvensional, uji ini digunakan untuk melihat apakah ada perbedaan peningkatan pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Perbedaan peningkatan yang sangat signifikan secara statistik antara kelas eksperimen dengan nilai *mean* 0,77; nilai *std. Deviation* 0,097 dan kelas konvensional dengan nilai *mean* 0,39; nilai *std. Deviation* 0,052. Dengan nilai t (44,6) sebesar 19,13 dan nilai p < 0,001. Interval kepercayaan 95% menunjukkan selisih peningkatan berada pada rentan 0,3439 hingga 0,4248. Karena nilai p (signifikansi) saja tidak cukup untuk menyatakan seberapa besar dampak peningkatan keterampilan berpikir kritis maka perlu dilakukan analisis ukuran efek atau *Effect Size* menggunakan perhitungan IBM SPSS 26. Berikut ini merupakan hasil perhitungan *effect size* yang dapat dilihat pada tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9. Data hasil Effect Size

		Standarizer ^a		Point Estimate	95% Confidence Interval	
Pair 1	N-Gain Eksperimen - Konvensional	Cohen's d	.07780	4.940	Lower	Upper
					3.904	5.963

Berdasarkan hasil perhitungan keluaran SPSS, didapatkan estimasi nilai *cohen's d* sebesar 4,94 dengan nilai persentase 95% *confidence interval* antara 3,904 sampai 5,963. Nilai ini termasuk dalam kategori sangat besar dan dapat mengkonfirmasi bahwa penggunaan model PBL berbantuan CRIT-EDU Sheet memiliki efektivitas yang besar secara praktis dibandingkan metode konvensional. Uji selanjutnya yaitu uji t-independen antara kelas konvensional dan kelas replikasi yang digunakan untuk melihat konsistensi model pembelajaran dengan menggunakan model PBL berbantuan CRIT-EDU Sheet, hasil uji t-independen dapat di lihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Uji t-Independen Kelas Eksperimen dan Kelas Replikasi

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	T	Df	One-Sided p	Two-Sided p	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
N_Gain	Equal Variances assumed	.618	.435	.514	58	.304	.609	.01204	.02340	-.3480	.05888
	Equal Variances not assumed			.514	56.9	.304	.609	.01204	.02340	-.3482	.05890

Hasil yang didapatkan pada uji t-independen kelas eksperimen dan kelas replikasi menunjukkan bahwa nilai signifikansi yang didapatkan sebesar 0,435 yang berarti nilai $H_0 \geq 0,05$ diterima dan menunjukkan bahwa nilai dari hasil kelas eksperimen dan kelas replikasi tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Sehingga penggunaan PBL berbantuan CRIT-EDU Sheet terbukti memiliki konsistensi yang baik, dimana pada perlakuan yang sama dapat menghasilkan output yang stabil antar kedua kelas tersebut. Pembahasan dari temuan ini menguatkan teori belajar konstruktivisme. Hasil belajar kelas konvensional tetap mengalami peningkatan (N-Gain 0,39) karena secara alami proses pembelajaran di kelas tetap memberikan transfer pengetahuan baru.

Peningkatan tersebut belum cukup untuk membekalkan keterampilan kognitif tingkat tinggi secara optimal. Sebaliknya, efektivitas masih pada kelas eksperimen (N-Gain 0,78) didorong oleh integrasi antara sintaks PBL dan fitur E-LKPD yang secara sistematis merangsang indikator berpikir kritis Facione. Pertama, pada fase orientasi masalah, CRIT-EDU Sheet menyajikan permasalahan kontekstual berbasis fenomena energi alternatif yang mendorong siswa melatih indikator Interpretasi. Kedua, pada fase membimbing penyelidikan, media *liveworksheet* memfasilitasi interaksi siswa dengan data melalui *scaffolding* visual yang secara langsung memandu siswa melatih indikator Analisis. Ketiga, dalam fase penyajian karya dan evaluasi pemecahan masalah, kolom respons terbuka pada CRIT-EDU Sheet memaksa siswa mengonstruksi argumen secara mandiri untuk menarik kesimpulan (Inferensi) dan menilai kelayakan gagasan (Evaluasi). Fitur *scaffolding* pada platform ini menurunkan beban kognitif berlebih dari prosedur manual, sehingga siswa dapat memfokuskan proses berpikirnya pada pemecahan masalah yang komprehensif.

Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian, instrumen pre-test dan post-test yang digunakan telah memenuhi kriteria validitas dan reliabilitas sehingga layak digunakan untuk mengukur keterampilan berpikir kritis siswa. Hasil validasi ahli menunjukkan skor rata-rata sebesar 3,51 untuk instrumen pre-test dan 3,55 untuk instrumen post-test yang keduanya termasuk dalam kategori sangat valid. Selain itu, hasil uji reliabilitas menunjukkan nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,873 pada instrumen pre-test dan 0,901 pada instrumen post-test, yang mengindikasikan tingkat konsistensi internal yang tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa instrumen mampu menghasilkan data yang relatif konsisten dalam mengukur keterampilan berpikir kritis siswa. Kelayakan instrumen menjadi aspek penting karena instrumen yang valid dan reliabel dapat menghasilkan pengukuran yang lebih akurat terhadap perubahan kemampuan siswa setelah mengikuti pembelajaran.

Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang menjelaskan bahwa instrumen berbasis kemampuan berpikir kritis perlu memenuhi aspek validitas dan reliabilitas agar dapat digunakan secara tepat dalam proses pengukuran kemampuan siswa. Dengan demikian, hasil pengujian instrumen dalam penelitian ini memberikan dasar yang kuat bahwa perubahan nilai pre-test dan post-test dapat digunakan sebagai dasar untuk menganalisis peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa (Putri et al., 2023). Hasil analisis menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis siswa mengalami peningkatan pada seluruh kelas setelah proses pembelajaran dilaksanakan. Kelas eksperimen memperoleh nilai N-Gain sebesar 0,78 dan kelas replikasi sebesar 0,76 yang keduanya berada dalam kategori tinggi, sedangkan kelas konvensional memperoleh nilai N-Gain sebesar 0,39 dalam kategori sedang. Perbedaan tingkat peningkatan tersebut menunjukkan

bahwa pembelajaran menggunakan model PBL berbantuan CRIT-EDU Sheet memberikan dampak yang lebih besar dibandingkan pembelajaran konvensional.

Keunggulan tersebut dapat dipahami karena model PBL menempatkan siswa sebagai subjek aktif yang terlibat dalam proses mengidentifikasi, menganalisis, dan menyelesaikan masalah. Penggunaan media elektronik juga memberikan ruang bagi siswa untuk berinteraksi secara lebih aktif dengan materi dan aktivitas pembelajaran yang telah disusun secara sistematis. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa e-modul interaktif berbasis Problem Based Learning dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis karena siswa dilibatkan secara aktif dalam proses pemecahan masalah (Rohmatulloh et al. 2023). Hasil tersebut juga didukung yang menegaskan bahwa penerapan e-modul berbasis PBL dapat menciptakan pembelajaran yang lebih aktif dan mendukung pengembangan kemampuan berpikir siswa melalui penyelesaian masalah secara mandiri maupun kolaboratif (Hayati & Hambali, 2025).

Hasil uji t-berpasangan menunjukkan bahwa terdapat peningkatan keterampilan berpikir kritis yang signifikan pada kelas eksperimen, kelas replikasi, dan kelas konvensional dengan nilai signifikansi masing-masing $p < 0,001$. Nilai Mean Difference yang bernilai negatif menunjukkan bahwa perhitungan dilakukan melalui selisih nilai pre-test dikurangi post-test, sehingga nilai negatif mengindikasikan bahwa skor post-test lebih tinggi dibandingkan skor pre-test. Kelas eksperimen mengalami peningkatan rata-rata sebesar 44,79 poin, kelas replikasi sebesar 42,52 poin, sedangkan kelas konvensional mengalami peningkatan sebesar 22,22 poin. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa proses pembelajaran pada ketiga kelas tetap memberikan pengalaman belajar yang mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa, meskipun besarnya peningkatan berbeda.

Peningkatan yang lebih besar pada kelas eksperimen dan replikasi menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis masalah yang dipadukan dengan media elektronik dapat memberikan stimulasi kognitif yang lebih intensif. Penerapan E-LKPD interaktif berbasis PBL dalam pembelajaran fisika dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis karena siswa diarahkan untuk memahami masalah, melakukan penyelidikan, dan membangun solusi secara aktif. Dengan demikian, hasil uji t-berpasangan memperkuat bahwa integrasi PBL dengan CRIT-EDU Sheet berpotensi menciptakan proses pembelajaran yang lebih efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dibandingkan pembelajaran yang hanya berorientasi pada penyampaian materi (Burnama & Hariyono, 2024).

Hasil uji t-independen antara kelas eksperimen dan kelas konvensional menunjukkan adanya perbedaan peningkatan keterampilan berpikir kritis yang signifikan secara statistik dengan nilai t sebesar 19,13 dan nilai $p < 0,001$. Karena hasil uji homogenitas menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,001, maka interpretasi hasil uji t dilakukan berdasarkan baris *equal variances not assumed* atau pendekatan Welch's t-test. Nilai N-Gain kelas eksperimen yang lebih tinggi dibandingkan kelas konvensional menunjukkan bahwa perlakuan berupa PBL berbantuan CRIT-EDU Sheet memberikan efektivitas yang lebih baik dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa.

Temuan ini juga diperkuat oleh nilai Cohen's d sebesar 4,940 yang menunjukkan ukuran efek sangat besar secara praktis. Besarnya ukuran efek tersebut mengindikasikan bahwa perbedaan yang ditemukan tidak hanya signifikan secara statistik, tetapi juga memiliki dampak substantif yang kuat dalam pembelajaran. Kondisi ini sejalan dengan penelitian menunjukkan bahwa penggunaan LKPD elektronik dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis karena pembelajaran dirancang untuk mendorong keterlibatan aktif siswa dalam memahami konsep dan menyelesaikan permasalahan. Oleh karena itu, penggunaan media pembelajaran elektronik yang

dirancang dengan aktivitas berpikir tingkat tinggi dapat menjadi salah satu alternatif untuk menciptakan pembelajaran yang lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional (Dwiputri et al., 2022).

Keberhasilan PBL berbantuan CRIT-EDU Sheet dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dapat dijelaskan melalui karakteristik aktivitas pembelajaran yang memberikan kesempatan kepada siswa untuk membangun pengetahuan secara aktif. Pada tahap orientasi masalah, siswa diberikan permasalahan kontekstual mengenai fenomena energi alternatif sehingga mereka terdorong untuk memahami dan menginterpretasikan informasi yang tersedia. Selanjutnya, pada tahap penyelidikan, siswa melakukan proses analisis terhadap data dan informasi dengan bantuan *scaffolding* visual yang disediakan dalam CRIT-EDU Sheet. Pada tahap penyajian hasil dan evaluasi, siswa diberikan ruang untuk menyusun argumen, menarik kesimpulan, dan mengevaluasi berbagai alternatif solusi terhadap permasalahan yang dihadapi.

Aktivitas tersebut sesuai dengan pembelajaran abad ke-21 yang menekankan pengembangan keterampilan berpikir kritis sebagai salah satu kompetensi penting yang perlu dimiliki siswa dalam menghadapi berbagai persoalan yang semakin kompleks. Puspa et al. menjelaskan bahwa transformasi pendidikan abad ke-21 perlu diarahkan pada pengembangan sumber daya manusia yang memiliki kemampuan berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan adaptif terhadap perkembangan ilmu pengetahuan serta teknologi. Dengan demikian, integrasi PBL dan CRIT-EDU Sheet tidak hanya meningkatkan hasil pengukuran keterampilan berpikir kritis, tetapi juga mendukung tuntutan pengembangan kompetensi siswa dalam pembelajaran abad ke-21 (Puspa et al., 2023).

Selain menunjukkan efektivitas yang tinggi pada kelas eksperimen, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penerapan PBL berbantuan CRIT-EDU Sheet memiliki konsistensi yang baik pada kelas replikasi. Hasil uji t-independen antara kelas eksperimen dan kelas replikasi menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,609, sehingga tidak terdapat perbedaan peningkatan keterampilan berpikir kritis yang signifikan antara kedua kelas. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perlakuan yang sama dapat menghasilkan pola peningkatan yang relatif setara pada kelompok siswa yang berbeda. Konsistensi ini terlihat dari nilai N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,78 dan kelas replikasi sebesar 0,76 yang keduanya termasuk dalam kategori tinggi. Kesamaan hasil tersebut memperkuat bahwa desain pembelajaran yang menggabungkan PBL dengan media elektronik interaktif dapat diterapkan secara berulang dengan hasil yang relatif stabil.

Temuan ini sejalan yang menekankan bahwa perangkat pembelajaran interaktif berbasis PBL mampu mendukung pengembangan kemampuan berpikir kritis melalui struktur aktivitas pemecahan masalah yang sistematis dan melibatkan siswa secara aktif (Rohmatulloh et al. (2023). Selain itu, menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran berbasis PBL dapat digunakan untuk membangun pengalaman belajar yang terstruktur sehingga siswa memiliki kesempatan yang sama untuk mengembangkan pemahaman dan kemampuan berpikir selama proses pembelajaran (Hayati & Hambali, 2025). Oleh karena itu, kesetaraan hasil antara kelas eksperimen dan kelas replikasi menunjukkan bahwa PBL berbantuan CRIT-EDU Sheet memiliki potensi sebagai model pembelajaran yang efektif dan konsisten dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data, dapat disimpulkan bahwa penerapan model *Problem Based Learning* (PBL) berbantuan media *E-LKPD Critical Thinking Education Worksheet* (CRIT-EDU Sheet) terbukti efektif secara signifikan dalam meningkatkan keterampilan berpikir

kritis siswa SMA, khususnya pada materi energi alternatif. Keefektifan ini dibuktikan dari perbedaan peningkatan yang masif antara kelas eksperimen dan kelas konvensional ($p < 0,001$). Kelas eksperimen memperoleh rata-rata peningkatan (*N-Gain*) sebesar 0,77 yang termasuk dalam kategori tinggi, sedangkan kelas konvensional hanya memperoleh rata-rata 0,39 pada kategori sedang. Besarnya dampak praktis dari model pembelajaran ini juga dikonfirmasi oleh nilai *Effect Size* (*Cohen's d*) sebesar 4,91 (kategori sangat besar). Selain itu, tidak adanya perbedaan peningkatan yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas replikasi ($p = 0,435$) bukan membuktikan efektivitas, melainkan membuktikan tingginya tingkat konsistensi (reliabilitas) intervensi ini ketika diterapkan pada kelompok siswa yang berbeda.

Meskipun menunjukkan hasil yang positif, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan desain yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya. Pertama, klaim efektivitas ini masih terbatas pada konteks materi energi alternatif, sehingga generalisasi pada karakteristik materi fisika lainnya masih memerlukan pembuktian empiris lebih lanjut. Kedua, durasi perlakuan yang dilakukan relatif sangat singkat. Keterampilan berpikir kritis adalah proses kognitif yang kompleks, sehingga pengukuran dalam waktu singkat rentan terhadap bias efek pengujian (*testing effect*) dan mungkin belum mencerminkan retensi pemahaman jangka panjang. Ketiga, meskipun penggunaan perangkat gawai (HP) di kelas terbukti meningkatkan motivasi dan interaktivitas, keterbatasan guru dalam mengontrol penuh layar siswa secara *real-time* menyebabkan kondisi kelas berisiko menjadi kurang kondusif. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperpanjang durasi intervensi dan menggunakan sistem pengawasan perangkat digital (*monitoring software*) agar pembelajaran berjalan lebih efisien.

Acknowledgment

-

Daftar Isi

- Alifa, S., Subarinah, S., Kurniawan, E., Soeprianto, H., Studi, P., & Matematika, P. (2024). Efektivitas Model Problem Based Learning (PBL) dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik. *Journal of Classroom Action Research*, 6(4). <https://doi.org/10.29303/jcar.v6i4.9385>
- Amelia, A., & Koryati, D. (2025). Pengaruh Penerapan Model Pembelajaran Problem Based Learning (PBL) Berbantuan LKPD Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis. In *EKLEKTIK: Jurnal Pendidikan Ekonomi dan Kewirausahaan* 8(1). <https://doi.org/10.24014/ekl.v8i1.37367>
- Ardianti, R., Siliwangi, U., Siliwangi, J., Sujarwanto, E., & Surahman, E. (2021). *DIFFRACTION: Journal for Physics Education and Applied Physics Problem-based Learning: Apa dan Bagaimana*. 3(1). <https://doi.org/10.37058/diffraction>
- Burnama, N. C., & Hariyono, E. (2024). *Penerapan E-LKPD Interaktif Berbasis PBL Pada Pembelajaran Fisika Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Pada Kelas X SMA Kartika IV-3 Surabaya*. 13 (2). <https://doi.org/10.26740/ipf.v14n3>
- Dwiputri, U., Salempa, P., & Sugiarti, S. (2022). Pengembangan LKPD Elektronik melalui Model Discovery Learning untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik (Studi pada Materi Pokok Larutan Elektrolit dan Non Elektrolit). *Chemistry Education Review*, 5(2), 2597. <https://doi.org/10.26858/cer.v5i2.13315>

- Faiziyah, N., & Priyambodho, B. L. (2022). Analisis Kemampuan Berpikir Kritis Dalam Menyelesaikan Soal HOTS Ditinjau Dari Metakognitis Siswa. *AKSIOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 11(4), 2823. <https://doi.org/10.24127/ajpm.v11i4.5918>
- Hidaayatullaah, N. &, & Dwikoranto. (2019). *Implementasi Problem Based Learning Untuk Melatihkan Kemampuan Problem Solving Fisika Peserta Disik* 8(2). <https://doi.org/10.30599/ce0wf344>
- Kusnandar, A., Mirza, I., & Kunci, K. (n.d.). *Islamic Management: Jurnal Manajemen Pendidikan Islam Eksplorasi Implementasi Problem-Based Learning (PBL) Dalam Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa*. <https://doi.org/10.30868/im.v8i02.8729>
- Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology*, 28(4), 563–575. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x>
- Miranda, K. D. R., Firmansyah, A., & Putri, A. E. (2024). Pengaruh Penggunaan E-LKPD berbasis Problem-Based-Learning Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Khatulistiwa (JPPK)*, 1(01), 1-11.. <https://doi.org/10.26418/jppk.v1i01.87280>
- Mukti, F., & Medriati, R. (2018). *Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Pembelajaran Fisika untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kreatif Siswa SMA Sint Carolus Kota Bengkulu* 1(3). <https://doi.org/10.33369/jkf.1.3.57-63>
- Munawaroh & Emiliannur. (2024). Design of Electronic Education Worksheets Integrated with Problem Based Learning to Facilitate Critical Thinking Skills of High School Students. *JPPF: Journal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 10. <https://doi.org/10.24036/jppf.v10i2.131415>
- Hayati, R. S., & Hambali, H. (2025). Pengembangan E-Modul Berbasis Problem Based Learning Pada Materi Sistem Pencernaan Manusia. *Jurnal Biogenerasi*, 10(3), 2048-2055. <https://doi.org/10.30605/biogenerasi.v10i3.6890>
- OECD. (2022). PISA 2022 Results: What Students Know and Can Do. Organisation for Economic Cooperation and Development.
- Purwaningsih, H. (2024). Peningkatan Motivasi Dan Hasil Belajar Siswa Melalui Penerapan Model Problem Based Learning (PBL) Berbantu Media Audio Visual Pada Pembelajaran Projek IPAS. *JGuruku: Jurnal Penelitian Guru*, 2(1), 347-355.. <https://doi.org/10.25134/jguruku.v2i2>
- Puspa, C. I. S., Rahayu, D. N. O., & Parhan, M. (2023). Transformasi Pendidikan Abad 21 dalam Merealisasikan Sumber Daya Manusia Unggul Menuju Indonesia Emas 2045. *Jurnal Basicedu*, 7(5), 3309–3321. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v7i5.5030>
- Putri, N. A., Fakhruddin, Z., & Fauza, N. (2023). Validitas dan reliabilitas butir soal berbasis kemampuan berpikir kritis. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 12(1), 28-34. <https://doi.org/10.24114/jpf.v12i1.42833>
- Ramadhani, Z. (2025). Analisis Validitas E-LKPD Fisika Berbasis Permainan Tradisional Boi-boian Materi Momentum dan Impuls. *Journal Education of Young Physics Teacher*, 6(2), 117–127. <https://doi.org/10.30599/ce0wf344>
- Rohmah, H. N., Suherman, A., & Utami, I. S. (2021). Penerapan Problem Based Learning Berbasis Stem pada Materi Alat Optik untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis

- Peserta Didik. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 12(2), 117–123.
<https://doi.org/10.26877/jp2f.v12i2.7900>
- Rohmatulloh, R., Nindiasari, H., & Fatah, A. (2023). Pengembangan E-modul Interaktif Berbasis Problem Based Learning (PBL) untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Matematis. *AKSIOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 12(4), 3599.
<https://doi.org/10.24127/ajpm.v12i4.8172>
- Lorencia S., G. L., & Jatmiko, B. (2021). Online Learning PBL Model with the STS Approach to Improve High School Students' Critical Thinking Ability. *PENDIPA Journal of Science Education*, 5(3), 459–465. <https://doi.org/10.33369/pendipa.5.3.459-465>
- Silitonga, N., & Purba, I.D.G., (2024). Pengembangan E-LKPD Interaktif Berbantuan Liveworksheet Berbasis Pendekatan Open-Ended Dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kreatif Siswa Kelas VIII. In *Journal of Mathematics Education and Science* 9(2).
<https://doi.org/10.30743/mes.v9i2.8739>
- Wahyuni, S., Hartono, F. V., Hafizhah, N., Slavira, L. D., Astutik, D. S., Lisnawati, W., & Izmarini, D. (2023). Penerapan Problem Based Learning (PBL) dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMP melalui Lesson Study. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 13(4), 963-969.. <https://doi.org/10.37630/jpm.v13i4.1242>