

PENERAPAN STEM-INQUIRY BASED LEARNING BERBANTUAN PHET SIMULATION TERHADAP KEMAMPUAN BERPIKIR KRITIS SISWA

Arfah¹, Irma Fitria Amalia^{2*}, dan Ali Ismail³

^{1,2}Institut Pendidikan Indonesia, Garut, Indonesia

³Universitas Pendidikan Indonesia, Sumedang, Indonesia

* Email: irmafitriaa@institutpendidikan.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh model pembelajaran STEM-Inquiry Based Learning (SIBL) berbantuan simulasi PhET terhadap kemampuan berpikir kritis siswa SMA kelas X pada materi sumber energi. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen semu (quasi-experiment) desain Non-equivalent Control Group Design. Sampel penelitian terdiri dari dua kelas X di salah satu SMA Negeri di Garut. Sampel dipilih menggunakan teknik purposive sampling, kelas X-4 sebagai kelas eksperimen yang diberi perlakuan SIBL berbantuan simulasi PhET dan kelas X-5 sebagai kelas kontrol yang diberi pembelajaran dengan metode ceramah. Instrumen yang digunakan berupa tes uraian kemampuan berpikir kritis yang disusun berdasarkan lima aspek Ennis, Millman, dan Tomko, yaitu klarifikasi dasar, membuat keputusan dasar, menyimpulkan, klarifikasi tingkat lanjut, dan beretorika dalam menyusun strategi, yang telah divalidasi oleh dua ahli. Data dianalisis menggunakan uji normalitas Shapiro-Wilk, uji homogenitas Levene, uji Independent Sample T-test dengan koreksi Satterthwaite, dan perhitungan N-Gain. Hasil penelitian menunjukkan nilai rata-rata posttest kelas eksperimen sebesar 64,07 dan kelas kontrol sebesar 47,41, dengan hasil uji-t menunjukkan nilai signifikansi (2-tailed) sebesar $0,000 < 0,05$, yang berarti terdapat perbedaan signifikan antara kemampuan berpikir kritis kedua kelas. Nilai rata-rata N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,53 (kategori sedang) lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,34 (kategori sedang). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan STEM-Inquiry Based Learning berbantuan simulasi PhET berpengaruh positif terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa.

Kata Kunci: STEM-Inquiry Based Learning; Simulasi PhET; Kemampuan Berpikir Kritis; Sumber Energi

Abstract

This study aims to determine the effect of the STEM-Inquiry Based Learning (SIBL) model assisted by PhET simulation on the critical thinking ability of tenth-grade high school students on the topic of energy sources. This study used a quantitative approach with a quasi-experimental method employing a Non-equivalent Control Group Design. The sample consisted of two tenth-grade classes at SMAN Garut selected through purposive sampling, namely class X-4 as the experimental class treated with SIBL assisted by PhET simulation, and class X-5 as the control class taught using the lecture method. The instrument used was an essay-type critical thinking test developed based on the five aspects of Ennis, Millman, and Tomko, namely elementary clarification, basic support, inference, advanced clarification, and strategies and tactics, which had been validated by two experts. Data were analyzed using the Shapiro-Wilk normality test, Levene's homogeneity test, the Independent Samples T-test with Satterthwaite correction, and N-Gain calculation. The results showed a mean posttest score of 64.07 for the experimental class and 47.41 for the control class, with the t-test yielding a significance value (2-tailed) of $0.000 < 0.05$, indicating a significant difference in critical thinking ability between the two classes. The mean N-Gain of the experimental class (0.53, moderate category) was higher than that of the control class (0.34, moderate category). Thus, it can be concluded that the implementation of STEM-Inquiry Based Learning assisted by PhET simulation has a positive effect on improving students' critical thinking ability.

Keywords: STEM-Inquiry Based Learning; PhET Simulation; Critical Thinking Ability; Energy Sources

PENDAHULUAN

Memasuki abad ke-21, manusia kehidupan, didominasi oleh globalisasi dan disuguhkan dengan era baru yang diwarnai digitalisasi yang menuntut penguasaan ilmu

perubahan signifikan di berbagai aspek

pengetahuan, teknologi, informasi, dan komunikasi yang semakin tinggi. Ismail dan Gumilar (2019) menyatakan bahwa kemajuan pesat teknologi, informasi, dan komunikasi saat ini didorong oleh penemuan-penemuan di bidang fisika material. Kondisi ini menuntut transformasi pembelajaran fisika menuju model pembelajaran abad ke-21 yang berkualitas untuk membekali generasi muda dengan keterampilan esensial di era modern. Ismail et al (2023) menyatakan bahwa pembelajaran abad ke-21 di Indonesia diarahkan pada pengembangan kompetensi 4C (*Critical Thinking* dan *Problem Solving*, *Creativity*, *Communication*, dan *Collaboration*), dengan kemampuan berpikir kritis sebagai salah satu kompetensi penting yang perlu dikembangkan.

Kemampuan berpikir kritis memungkinkan individu untuk menafsirkan informasi dengan bijak, memecahkan masalah kompleks, dan membuat keputusan yang informasional (Suryaningsih et al., 2021; Suryaningsih et al., 2024). Namun demikian, tingkat kemampuan berpikir kritis siswa Indonesia masih tergolong rendah. Susilawati et al. (2020) menyatakan bahwa tidak ada siswa SMA dalam mata pelajaran fisika yang mampu berpikir kritis dalam rentang tinggi dan sangat tinggi, sedangkan Wijayanti dan Siswanto (2020) menemukan bahwa hasil tes kemampuan berpikir kritis siswa pada materi sumber-sumber energi hanya menunjukkan rata-rata ketercapaian 46,97%. Juraidah dan Hartoyo (2022) menjelaskan bahwa penerapan Kurikulum Merdeka melalui profil pelajar Pancasila menuntut siswa untuk merekonstruksi pengalaman belajar berdasarkan kehidupan nyata, sehingga penguatan kompetensi berpikir kritis menjadi krusial (Indarta et al., 2022).

Berbagai upaya pengembangan metode pembelajaran interaktif telah dilakukan untuk mengasah kemampuan berpikir kritis siswa. Ismail, et al (2023) menyatakan bahwa

pembelajaran berbasis STEM dapat menjadi solusi alternatif yang efektif dalam melatih keterampilan berpikir kritis siswa, sejalan dengan Faoziyah (2021) dan Noris, Saputro, dan Ulimaz (2023) yang menunjukkan bahwa pendekatan STEM berfokus pada peningkatan pengajaran, pembelajaran, dan penguasaan konsep dalam sistem pendidikan modern. Amin & Ibrahim (2022) serta Jatmika et al. (2020) turut menegaskan bahwa pendidikan STEM yang disampaikan melalui pembelajaran aktif dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif siswa. Prayogi dkk. (2024) menyatakan bahwa *STEM-Inquiry Based Learning* (SIBL) merupakan salah satu bentuk pembelajaran terbaik untuk mengasah kemampuan berpikir kritis, karena mendorong siswa aktif merumuskan pertanyaan, mengumpulkan data, menganalisis informasi, dan menarik kesimpulan. Efektivitas *Inquiry Based Learning* dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis juga didukung oleh sejumlah penelitian lain (Kelana, Robandi, & Widodo, 2020; Pujani, 2020; Samadun et al., 2023; Irfan, Islamiati, & Aidin, 2023).

Penerapan SIBL dapat ditingkatkan dengan bantuan simulasi PhET (*Physics Education Technology*), yaitu simulasi interaktif yang membantu siswa memvisualisasikan konsep-konsep abstrak dan kompleks serta melakukan eksperimen dan penyelidikan secara mandiri (Perkins, 2020). Viratama dan Maskhuliah (2022) menemukan bahwa simulasi PhET meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa serta memiliki hubungan linear yang signifikan antara simulasi PhET, pemikiran kritis, dan hasil belajar. Sejalan dengan itu, Mardiyanti & Jatmiko (2022) menunjukkan bahwa model inkuiri terbimbing berbantuan PhET *Interactive Simulations* efektif meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa SMA, sedangkan Fatimah & Zulaiha (2023) membuktikan bahwa implementasi pendekatan STEM dalam

pembelajaran dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa SMA kelas X.

Penelitian berbasis inkuiri seperti SIBL memiliki keterkaitan erat dengan pengembangan Kemampuan Berpikir Kritis (KBK) yang diukur melalui berbagai aspek dan indikator. Menurut Ennis et al. (2005), kemampuan berpikir kritis mencakup lima aspek utama, yaitu klarifikasi dasar (*elementary clarification*), membuat keputusan dasar (*basic support*), menyimpulkan (*inference*), klarifikasi tingkat lanjut (*advanced clarification*), dan beretorika dalam menyusun strategi (*strategies and tactics*). Himmatussolihah et al. (2020) menyatakan bahwa model Ennis relevan digunakan untuk mengukur kemampuan berpikir kritis siswa berusia 10-20 tahun dan telah terbukti efektif di berbagai konteks pendidikan. Kelima aspek tersebut dinilai selaras dengan karakteristik pembelajaran SIBL, yang menekankan penyelidikan mandiri, pengumpulan data, analisis informasi, dan penarikan kesimpulan, sehingga model ini dipandang tepat digunakan sebagai kerangka pengukuran kemampuan berpikir kritis pada penelitian ini.

Meskipun penelitian sejenis mengenai STEM, *Inquiry Based Learning*, maupun simulasi PhET secara terpisah telah banyak dilakukan, penelitian yang secara khusus mengintegrasikan ketiganya sekaligus, yaitu *STEM-Inquiry Based Learning* berbantuan simulasi PhET terhadap kemampuan berpikir kritis siswa pada materi sumber energi, masih terbatas jumlahnya, terutama dengan bahan ajar, aspek/indikator kemampuan berpikir kritis, dan instrumen tes yang dikembangkan secara khusus untuk konteks penelitian ini. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan simulasi PhET yang diintegrasikan dengan pembelajaran *STEM-Inquiry Based Learning* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa SMA di Garut, dengan mengacu pada lima aspek kemampuan berpikir kritis Ennis et al. (2005) yang dinilai

selaras dengan proses penyelidikan mandiri, pengumpulan data, analisis informasi, dan penarikan kesimpulan dalam SIBL. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh model pembelajaran *STEM-Inquiry Based Learning* berbantuan PhET Simulation terhadap kemampuan berpikir kritis siswa SMA kelas X.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimen semu (*quasi-experiment*), menggunakan desain *Non-equivalent Control Group Design* (NECGD) dengan bentuk pretest dan posttest design. Desain ini terdiri dari kelompok eksperimen yang diberi perlakuan dengan *STEM-Inquiry Based Learning* berbantuan simulasi PhET, dan kelompok kontrol yang diberi perlakuan dengan metode ceramah, tanpa penempatan sampel secara acak penuh ke dalam kedua kelompok.

Penelitian dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2023/2024 di SMAN 15 Garut. Populasi penelitian adalah seluruh siswa kelas X SMAN 15 Garut yang berjumlah kurang lebih 389 siswa. Sampel penelitian dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* berdasarkan saran guru mata pelajaran fisika terkait keaktifan dan hasil belajar siswa, sehingga ditetapkan kelas X-4 sebagai kelas eksperimen dan kelas X-5 sebagai kelas kontrol.

Instrumen penelitian terdiri dari modul ajar dan LKPD berbasis *STEM-Inquiry Based Learning* yang telah direview oleh guru mata pelajaran fisika, lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran, serta soal tes kemampuan berpikir kritis berbentuk uraian sebanyak lima butir yang disusun berdasarkan lima aspek kemampuan berpikir kritis menurut Ennis, yaitu klarifikasi dasar, membuat keputusan dasar, menyimpulkan, klarifikasi tingkat lanjut, dan beretorika dalam menyusun strategi. Instrumen tes divalidasi oleh dua ahli (dosen fisika dan guru

mata pelajaran fisika) menggunakan angket validitas skala Guttman yang menilai aspek konten, konstruksi, dan bahasa, dan seluruh butir soal dinyatakan valid untuk digunakan.

Data pretest dan posttest yang diperoleh dianalisis menggunakan aplikasi IBM SPSS Statistics 22. Uji normalitas dilakukan menggunakan uji Shapiro-Wilk, yang sesuai digunakan untuk jumlah sampel kurang dari 50 (Sukarelawan et al., 2024), dengan data dinyatakan berdistribusi normal apabila nilai signifikansi lebih besar dari 0,05. Uji homogenitas dilakukan menggunakan uji Levene, dengan data dinyatakan homogen apabila nilai signifikansi lebih besar dari 0,05. Apabila data berdistribusi normal namun tidak homogen, pengujian hipotesis dilanjutkan menggunakan uji *Independent Sample T-test* dengan derajat bebas terkoreksi Satterthwaite, dengan kriteria H_a diterima apabila nilai signifikansi (2-tailed) kurang dari 0,05 (Iskandar et al., 2022).

Perlakuan pada kelas eksperimen mengikuti sintak Inquiry Based Learning yang diadaptasi dari model Gulo (dalam Mariyaningsih & Hidayati, 2018), yaitu mengajukan pertanyaan atau permasalahan, merumuskan hipotesis, mengumpulkan data melalui simulasi PhET, menganalisis data, dan membuat kesimpulan, dengan muatan STEM diintegrasikan pada setiap tahapan melalui LKPD yang memuat konsep sains (sumber energi), teknologi (simulasi PhET dan teknologi energi terbarukan), teknik (desain pembangkit listrik), dan matematika (perhitungan energi kinetik dan potensial). Sementara itu, kelas kontrol memperoleh pembelajaran pada materi yang sama menggunakan metode ceramah tanpa penerapan sintak inkuiri maupun simulasi interaktif, sehingga perbedaan hasil belajar antara kedua kelas dapat diatribusikan pada perlakuan yang diberikan.

Besarnya peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa diukur menggunakan perhitungan N-Gain, dengan kriteria interpretasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Interpretasi N-Gain

Nilai N-Gain	Kategori
$0,70 \leq g \leq 1,00$	Tinggi
$0,30 \leq g < 0,70$	Sedang
$0,00 < g < 0,30$	Rendah
$g = 0,00$	Tidak Terjadi Peningkatan

(Sukarelawan, Indratno, & Ayu, 2024)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi statistik nilai pretest dan posttest kemampuan berpikir kritis kelas eksperimen dan kelas kontrol disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Deskripsi Nilai Pretest dan Posttest Kemampuan Berpikir Kritis

Kelompok	N	Min	Maks	Mean	Std. Deviasi
Pretest Eksperimen	27	8	46	22,19	10,374
Posttest Eksperimen	27	48	83	64,07	10,232
Pretest Kontrol	29	8	41	19,72	7,919
Posttest Kontrol	29	28	76	47,41	14,664

Berdasarkan Tabel 2, nilai rata-rata posttest kelas eksperimen (64,07) lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol (47,41), dengan standar deviasi kelas eksperimen yang menurun dari pretest ke posttest (10,374 menjadi 10,232), mengindikasikan bahwa sebaran nilai siswa menjadi lebih seragam setelah pembelajaran. Sebaliknya, standar deviasi kelas kontrol meningkat (7,919 menjadi 14,664), mengindikasikan bahwa respons siswa terhadap metode ceramah lebih beragam.

Uji normalitas Shapiro-Wilk menunjukkan nilai signifikansi pretest eksperimen sebesar 0,086, posttest eksperimen sebesar 0,278, pretest kontrol sebesar 0,099, dan posttest kontrol sebesar 0,058, yang seluruhnya lebih besar dari 0,05, sehingga seluruh data dinyatakan berdistribusi normal. Uji homogenitas Levene pada data posttest menunjukkan nilai signifikansi Based on Mean sebesar 0,046 ($< 0,05$), sehingga varians posttest kelas eksperimen dan kelas kontrol dinyatakan tidak homogen. Oleh karena itu, pengujian hipotesis dilanjutkan menggunakan uji Independent Sample T-test dengan derajat bebas terkoreksi Satterthwaite, yang menghasilkan nilai t sebesar -4,958 dengan df terkoreksi 50 dan nilai signifikansi (2-tailed) sebesar 0,000 ($< 0,05$), sehingga H_0 ditolak dan H_a diterima, yang berarti terdapat perbedaan signifikan antara kemampuan berpikir kritis kelas eksperimen dan kelas kontrol. Hasil perhitungan N-Gain disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan N-Gain Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Kelas	Min	Maks	N-Gain (Mean)	Interpretasi
Eksperimen (SIBL berbantuan PhET)	0,26	0,78	0,53	Sedang
Kontrol (Ceramah)	0,02	0,69	0,34	Sedang

Berdasarkan Tabel 3, peningkatan kemampuan berpikir kritis kelas eksperimen (N-Gain 0,53) maupun kelas kontrol (N-Gain 0,34) sama-sama berada pada kategori sedang, namun peningkatan pada kelas eksperimen lebih besar dibandingkan kelas kontrol. Pada tingkat aspek kemampuan berpikir kritis, kelas eksperimen menunjukkan N-Gain tertinggi pada aspek klarifikasi tingkat lanjut (0,65, kategori sedang) dan terendah pada aspek beretorika dalam menyusun strategi (0,30, kategori rendah),

sedangkan kelas kontrol menunjukkan N-Gain tertinggi pada aspek klarifikasi dasar (0,49, kategori sedang) dan terendah pada aspek beretorika dalam menyusun strategi (0,04, kategori rendah). Perbedaan N-Gain yang cukup tajam pada aspek membuat keputusan dasar (0,52 pada kelas eksperimen berbanding 0,19 pada kelas kontrol) mengindikasikan bahwa keterlibatan aktif siswa dalam penyelidikan mandiri pada SIBL lebih efektif melatih siswa menilai kredibilitas sumber dan mempertimbangkan hasil pengamatan dibandingkan metode ceramah.

Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan STEM-*Inquiry Based Learning* berbantuan simulasi PhET memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan berpikir kritis siswa. Temuan ini sejalan dengan penelitian Viratama dan Maskhuliah (2022), yang menunjukkan bahwa simulasi PhET meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran STEM-*Inquiry Based Learning* serta memiliki hubungan linear yang signifikan antara simulasi PhET, pemikiran kritis, dan hasil belajar. Hal ini juga diperkuat oleh penelitian Mardiyanti & Jatmiko (2022), yang menunjukkan bahwa model inkuiri berbantuan PhET *Interactive Simulations* efektif meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa SMA, serta penelitian Fatimah dan Zulaiha (2023), yang membuktikan bahwa implementasi pendekatan STEM dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa SMA kelas X. Efektivitas *Inquiry Based Learning* dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis pada penelitian ini juga konsisten dengan temuan Samadun et al. (2023); Irfan et al. (2023).

Temuan ini juga relevan dengan tuntutan kompetensi 4C abad ke-21 yang dikemukakan oleh Ismail, Gumilar, dan Amalia (2023), khususnya pada aspek *Critical Thinking* dan *Problem Solving* yang menjadi fokus utama penelitian ini. Peningkatan kemampuan berpikir

kritis yang lebih besar pada kelas eksperimen menunjukkan bahwa integrasi pendekatan STEM dengan model inkuiri dan media simulasi interaktif dapat menjadi strategi yang saling melengkapi, sebagaimana ditegaskan oleh Yulkifli et al. (2022) bahwa pengembangan media pembelajaran fisika berbasis proyek dengan pendekatan *Ethno-STEM* mampu mendukung pembelajaran yang lebih kontekstual dan bermakna bagi siswa. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bukti bahwa kombinasi ketiga elemen, yaitu pendekatan STEM, model *Inquiry Based Learning*, dan simulasi interaktif PhET, memberikan efek sinergis yang lebih besar terhadap kemampuan berpikir kritis dibandingkan penerapan salah satu elemen tersebut secara terpisah, sebagaimana telah ditunjukkan pada berbagai penelitian terdahulu yang meneliti masing-masing elemen secara parsial (Jatmika et al., 2020; Kelana, Robandi, & Widodo., 2020; Perkins, 2020).

Beberapa faktor turut memengaruhi keunggulan kelas eksperimen dibandingkan kelas kontrol. Model SIBL yang berpusat pada siswa mendorong partisipasi aktif, diskusi, dan eksplorasi mandiri yang memicu proses berpikir kritis, sementara simulasi PhET memfasilitasi visualisasi konsep sumber energi yang bersifat abstrak, seperti hubungan energi kinetik, energi potensial, dan energi mekanik, yang sulit divisualisasikan melalui metode ceramah konvensional. Perkins (2020) menekankan bahwa simulasi PhET dirancang untuk mentransformasikan pembelajaran STEM melalui visualisasi interaktif yang mendukung pembangunan pemahaman konseptual siswa secara mandiri. Sebaliknya, keberagaman hasil posttest pada kelas kontrol, yang ditunjukkan oleh peningkatan standar deviasi, mengindikasikan bahwa metode ceramah memberikan efek yang tidak merata pada setiap siswa, kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan

gaya belajar dan minimnya interaksi timbal balik antara guru dan siswa.

Analisis per aspek kemampuan berpikir kritis turut memberikan gambaran mendalam mengenai bagaimana SIBL berbantuan PhET memengaruhi proses kognitif siswa secara berbeda-beda. Pada aspek klarifikasi dasar, yang mencakup indikator memahami dan menggunakan grafik serta matematika dasar, N-Gain kelas kontrol (0,49) justru sedikit lebih tinggi dibandingkan kelas eksperimen (0,46), yang kemungkinan disebabkan oleh kelas eksperimen lebih berfokus pada kegiatan simulasi dibandingkan pembahasan rumus dan operasi matematika dasar secara eksplisit. Sebaliknya, pada aspek klarifikasi tingkat lanjut yang mencakup indikator mendefinisikan istilah dan menilai definisi, kelas eksperimen unggul jauh (0,65 berbanding 0,45), yang menunjukkan bahwa proses penyelidikan mandiri dalam SIBL lebih efektif melatih siswa memahami dan mendefinisikan konsep transformasi energi secara mendalam dibandingkan hanya mendengarkan penjelasan guru. Temuan ini sejalan dengan pandangan Prayogi dkk. (2024) bahwa pembelajaran inkuiri berbasis STEM unggul dalam melatih keterampilan berpikir kritis tingkat tinggi, meskipun keterampilan dasar seperti literasi matematis tetap perlu mendapat penguatan tersendiri.

Implikasi dari temuan ini bagi bidang pendidikan fisika adalah pentingnya mengintegrasikan media simulasi interaktif seperti PhET ke dalam sintak pembelajaran berbasis inkuiri secara konsisten, khususnya pada materi-materi yang bersifat abstrak seperti sumber energi, agar siswa dapat membangun pemahaman konseptual sekaligus melatih kemampuan berpikir kritis secara bersamaan. Sekolah dan guru perlu mendapatkan dukungan berupa pelatihan pemanfaatan simulasi interaktif berbasis STEM serta ketersediaan akses internet dan perangkat yang memadai, agar model

pembelajaran ini dapat diterapkan secara optimal dan berkelanjutan, khususnya pada aspek beretorika dalam menyusun strategi yang pada penelitian ini masih menunjukkan peningkatan paling rendah pada kedua kelas.

KESIMPULAN

Penerapan model pembelajaran STEM-*Inquiry Based Learning* berbantuan simulasi PhET berpengaruh positif terhadap kemampuan berpikir kritis siswa SMA kelas X pada materi sumber energi, sebagaimana ditunjukkan oleh perbedaan signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol (uji *Independent Sample T-test* terkoreksi Satterthwaite, Sig. 2-tailed = 0,000 < 0,05) serta nilai rata-rata N-Gain kelas eksperimen (0,53, kategori sedang) yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol (0,34, kategori sedang). Keterlibatan aktif siswa dalam penyelidikan mandiri yang didukung visualisasi simulasi PhET terbukti lebih efektif dalam melatih aspek klarifikasi tingkat lanjut dan membuat keputusan dasar, meskipun aspek beretorika dalam menyusun strategi masih memerlukan penguatan lebih lanjut pada kedua kelompok.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala sekolah, guru mata pelajaran fisika, dan siswa kelas X SMAN Garut atas kerja sama yang diberikan selama proses penelitian, serta kepada dosen pembimbing di Program Studi Pendidikan Fisika, Institut Pendidikan Indonesia, Garut, atas bimbingan yang diberikan sepanjang penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M., & Ibrahim, M. (2022). Meta analisis: Keefektifan STEM terhadap kemampuan berpikir kreatif siswa. *Journal of Authentic Research on Mathematics Education (JARME)*, 4(2), 248-262.
- Ennis, R. H., Millman, J., & Tomko, T. N. (2005). *Cornell critical thinking tests level X*

& level Z manual (5th ed.). Critical Thinking Company.

- Faoziyah. (2021). Kemampuan pemecahan masalah matematis siswa melalui pendekatan STEM berbasis PBL. *Pasundan Journal of Mathematics Education (PJME)*, 11(1), 50-64.
- Fatimah, S., & Zulaiha, F. (2023). Implementasi pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa SMA kelas X. *Jurnal Tahsinia*, 4(2), 230-241.
- Himmatussolihah, Ashadi, & Susanti, E. (2020). Critical thinking skills of 10th grade students and the effect on learning achievement. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 397, 953-956.
- Indarta, Y., Ranuharja, F., Ganefri, Prasetya, F., & Fajri, B. R. (2022). Relevansi kurikulum merdeka belajar dengan model pembelajaran abad 21 dalam perkembangan era society 5.0. *EDUKATIF: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 4(2), 3011-3024. <https://doi.org/10.31004/edukatif.v4i2.2589>
- Irfan, M., Islamiati, N., & Aidin, A. (2023). Peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa dengan menggunakan model pembelajaran inquiry based learning. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran (JRPP)*, 6(4), 3526-3533.
- Iskandar, Mustari, Nasrudin, & Sukmawijaya, Y. (2022). *Statistik pendidikan (teori dan aplikasi SPSS) (M. Nasrudin, Ed.)*. PT Nasya Expanding Management.
- Ismail, A., & Gumilar, S. (2019). Implementasi model pembelajaran berbasis multimedia interaktif untuk meningkatkan hasil belajar dan keterampilan berpikir kritis siswa SMK. *PETIK: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 5(2), 9-17.
- Ismail, A., Gumilar, S., & Amalia, I. F. (2023). Peningkatan kompetensi guru fisika melalui pelatihan pembelajaran fisika berbasis

- STEM. *Badranaya: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 1(2), 46-51.
- Jatmika, S., Suryani, N. E., & Ristanto, S. (2020). Integrasi project based learning dalam science technology engineering and mathematics untuk meningkatkan keterampilan proses sains dalam pembelajaran fisika. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Keilmuan (JPFK)*, 6(2), 107-115. <https://doi.org/10.25273/jpfk.v6i2.8688>
- Juraidah, & Hartoyo, A. (2022). Peran guru dalam menumbuhkembangkan kemandirian belajar dan kemampuan berpikir kritis siswa sekolah dasar melalui proyek penguatan profil pelajar Pancasila. *Jurnal Pendidikan Dasar Perkhasa*, 8(2), 105-118. <https://doi.org/10.31932/jpdp.v8i2.1719>
- Kelana, J. B., Robandi, B., & Widodo, A. (2020). Inquiry model: How to improve the ability of the nature of science and its aspects in elementary school? *International Journal of Elementary Education*, 6(2), 325-332. <https://doi.org/10.23887/ijee.v6i2.45611>
- Mardiyanti, N. E. A., & Jatmiko, B. (2022). Keefektifan pembelajaran fisika dengan model inkuiri terbimbing berbantuan PhET Interactive Simulations untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa SMA. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 6(2), 327-336. <https://doi.org/10.20527/jipf.v6i2.5281>
- Mariyaningsih, N., & Hidayati. (2018). *Bukan Kelas Biasa: Teori dan Praktik Berbagai Model dan Metode Pembelajaran Menerapkan Inovasi Pembelajaran Di Kelas-Kelas Inspiratif*. Penerbit CV Kekata Group.
- Noris, M., Saputro, S., & Ulimaz, A. (2023). STEM research trends from 2013 to 2022: A systematic literature review. *International Journal of Technology in Education (IJTE)*, 6(2), 224-237. <https://doi.org/10.46328/ijte.390>
- Perkins, K. (2020). Transforming STEM learning at scale: PhET interactive simulations. *Childhood Education*, 96(4), 42-49. <https://doi.org/10.1080/00094056.2020.1796451>
- Prayogi, S., Verawati, N. N. S. P., Ayub, S., & Wulandari, D. (2024). Inquiry vs. inquiry-creative: Emphasizing critical thinking skill of prospective STEM teachers in the context of STEM learning in Indonesia. *Education Sciences*, 14(6), 593. <https://doi.org/10.3390/educsci14060593>
- Pujani, N. M. (2020). The effectiveness of the inquiry learning model on basic science learning materials on problem solving and critical thinking skills. *Jurnal Pendidikan dan Pengajaran*, 55, 173-181.
- Samadun, S., Sudarti, Prihandono, T., & Handayani, R. D. (2023). Effectiveness of inquiry learning models to improve students' critical thinking ability. *IJORER: International Journal of Recent Educational Research*, 4(2), 203-212. <https://doi.org/10.46245/ijorer.v4i2.277>
- Sukarelawan, M. I., Indratno, T. K., & Ayu, S. M. (2024). *N-Gain Vs Stacking*. Suryacahya.
- Susilawati, E., Ariswan, & Sukardiyono. (2020). Analisis tingkat keterampilan berpikir kritis siswa SMA. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi (JPFT)*, 6(1), 15-22. <https://doi.org/10.29303/jpft.v6i1.1453>
- Suryaningsih, S., Ngabekti, S., & Yusuf, A. (2021). Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Melalui Model Problem Based Learning Berbantuan Talking Stick. *JIKAP PGSD: Jurnal Ilmiah*, 5(3), 484-495.
- Suryaningsih, S., & Rahma, N. A. (2024). Development of Teaching Materials Based on Strengthening The Pancasila Profile of Science And Science Subjects To Improve Critical-Creative. *Jurnal Cakrawala Pendas*, 10(4), 928-941.
- Viratama, I. P., & Maskhuliah, P. (2022). The effect of PhET simulation media on critical thinking ability and learning outcomes of SMA Negeri Yokiwa. *Jurnal Edumaspul -*

-
- Jurnal Pendidikan*, 6(2), 1963-1966.
<https://doi.org/10.33487/edumaspul.v6i2.4482>
- Wijayanti, R., & Siswanto, J. (2020). Profil kemampuan berpikir kritis siswa SMA pada materi sumber-sumber energi. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika (JP2F)*, 11(1), 112-118.
<https://doi.org/10.26877/jp2f.v11i1.5533>
- Yulkifli, Y., Yohandri, Y., & Azis, H. (2022). Development of physics e-module based on integrated project-based learning model with Ethno-STEM approach on smartphones for senior high school students. *Momentum: Physics Education Journal*, 6(1), 93-103.