



**PENGARUH MODEL PEMBELAJARAN *COLLABORATIVE CREATIVITY*  
BERBANTUAN *PHET SIMULATION* TERHADAP KEMAMPUAN BERPIKIR  
KRITIS SISWA SMA**

**Ni Kadek Ayu Dinda Sugianthari<sup>1</sup>, I Wayan Suastra<sup>2</sup>, Ni Putu Widiarini<sup>3</sup>**  
Universitas Pendidikan Ganesha<sup>1,2,3</sup>  
e-mail: [ayu.dinda.sugianthari@student.undiksha.ac.id](mailto:ayu.dinda.sugianthari@student.undiksha.ac.id)

Diterima: 12/05/2026; Direvisi: 09/06/2026; Diterbitkan: 20/06/2026

**ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh model pembelajaran *Collaborative Creativity* (CC) berbantuan simulasi PhET terhadap kemampuan berpikir kritis siswa SMA pada mata pelajaran Fisika. Latar belakang penelitian ini didasari oleh rendahnya kemampuan berpikir kritis siswa Indonesia berdasarkan data PISA 2022 serta tantangan dalam memahami konsep Fisika yang abstrak melalui metode konvensional. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen semu (*quasi-experiment*) dengan desain *non-equivalent pretest-posttest control group design*. Sampel penelitian terdiri dari dua kelas yang dipilih secara *purposive*, yakni kelas eksperimen yang menerapkan model CC berbantuan PhET dan kelas kontrol yang menerapkan pembelajaran konvensional. Instrumen penelitian berupa tes kemampuan berpikir kritis dalam bentuk uraian yang dikembangkan berdasarkan indikator Ennis. Teknik analisis data menggunakan analisis kovarian (ANAKOVA) untuk menguji signifikansi perbedaan peningkatan kemampuan antara kedua kelompok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan model *Collaborative Creativity* berbantuan simulasi PhET secara signifikan lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa dibandingkan pembelajaran konvensional. Temuan ini memberikan kontribusi teoretis dan praktis bagi pendidik dalam mengintegrasikan kolaborasi, kreativitas, dan laboratorium virtual sebagai solusi inovatif untuk memvisualisasikan konsep abstrak dalam pembelajaran Fisika.

**Kata Kunci:** *Collaborative Creativity, PhET, Berpikir Kritis.*

**ABSTRACT**

This study aims to analyze the effect of the Collaborative Creativity (CC) learning model assisted by PhET simulations on the critical thinking skills of high school students in Physics. The research is motivated by the low critical thinking proficiency of Indonesian students, as indicated by the 2022 PISA results, and the inherent difficulty of mastering abstract Physics concepts through conventional methods. The study employed a quasi-experimental method with a non-equivalent pretest-posttest control group design. The sample consisted of two classes: an experimental group taught using the CC model integrated with PhET virtual laboratories and a control group taught using conventional methods. The research instrument comprised an essay-based critical thinking test developed according to Ennis's indicators. Data were analyzed using the Analysis of Covariance (ANCOVA). The results of the study showed that the implementation of the Collaborative Creativity model assisted by PhET simulations was significantly more effective in improving students' critical thinking skills than conventional learning. This research provides a theoretical and practical contribution to the development of innovative learning models in Physics education, highlighting the synergy between scientific collaboration, creativity, and digital visualization tools.

**Keywords:** *Collaborative Creativity, PhET Simulations, Critical Thinking.*

Copyright (c) 2026 SCIENCE : Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA

<https://doi.org/10.51878/science.v6i3.11092>



## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan informasi yang sangat pesat merupakan fenomena yang tidak dapat dihindari pada abad ke-21. Salah satu karakteristik utama era ini adalah kemudahan akses informasi kapan saja dan di mana saja, penerapan mesin secara luas, serta kemampuan melakukan berbagai aktivitas lintas profesi tanpa batas ruang (Trisanti et al., 2022). Perkembangan tersebut menuntut peningkatan kualitas sumber daya manusia (SDM), terutama dalam penguasaan keterampilan yang sesuai dengan tuntutan zaman. Menurut Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, keterampilan abad ke-21 mencakup 16 kompetensi yang terbagi dalam tiga kelompok utama, salah satunya adalah keterampilan berpikir kritis. Oleh karena itu, pendidikan memiliki peran penting dalam mempersiapkan SDM yang mampu menghadapi tantangan tersebut, karena kualitas sistem pendidikan sangat memengaruhi kesiapan individu menghadapi tantangan masa kini (Rahardhian, 2022).

Meningkatnya tuntutan terhadap kualitas SDM menjadikan abad ke-21 bukan hanya sebagai era kemajuan teknologi, tetapi juga sebagai periode transformasi pendidikan. Salah satu indikator transformasi tersebut adalah perubahan kurikulum yang terus berkembang (Villayah, 2025). Berdasarkan Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional, kurikulum didefinisikan sebagai seperangkat rencana dan pengaturan mengenai tujuan, isi, bahan pembelajaran, serta metode yang digunakan sebagai pedoman pelaksanaan kegiatan pembelajaran untuk mencapai tujuan pendidikan tertentu. Perubahan kurikulum dilakukan sebagai upaya untuk menyesuaikan proses pendidikan dengan perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi, serta kebutuhan peserta didik dan masyarakat.

Indonesia telah mengalami beberapa kali perubahan kurikulum untuk menyesuaikan perkembangan zaman. Setelah penerapan Kurikulum 2013, pemerintah memperkenalkan kurikulum baru pada tahun 2020 yang dikenal sebagai Kurikulum Merdeka Belajar. Kurikulum ini menekankan pendekatan *student-centered learning* yang memberikan kebebasan lebih besar kepada siswa untuk mengeksplorasi dan mengembangkan potensinya. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pembelajaran abad ke-21, di mana siswa didorong untuk aktif membangun pengetahuan dan mengembangkan kompetensi penting, khususnya keterampilan berpikir kritis (Nusroh et al., 2022). Berpikir kritis diakui sebagai keterampilan fundamental dalam menghadapi kompleksitas kehidupan modern (Afriani et al., 2021). Ennis mendefinisikan berpikir kritis sebagai “pemikiran reflektif dan rasional yang berfokus pada penentuan apa yang harus dipercaya atau dilakukan” (Zakiah & Lestari, 2019). Berpikir kritis melibatkan proses berpikir tingkat tinggi, di mana individu mengorganisasi kembali, menghubungkan, dan memperluas pengetahuan yang dimiliki untuk memecahkan masalah atau mengambil keputusan dalam situasi kompleks (Abdullah & Munawwaroh, 2024). Secara umum, berpikir kritis mengacu pada kemampuan siswa dalam menganalisis masalah, mengevaluasi berbagai sudut pandang, dan membuat keputusan yang tepat.

Dalam konteks pendidikan fisika, berpikir kritis memiliki peran yang sangat penting. Fisika sebagai disiplin ilmu menuntut siswa untuk memahami konsep abstrak, memecahkan masalah kompleks, serta menghubungkan pengetahuan teoretis dengan fenomena kehidupan nyata. Selain itu, sebagai ilmu dasar pengembangan teknologi, fisika sangat bergantung pada aktivitas eksperimen yang dapat mengembangkan keterampilan ilmiah, termasuk berpikir kritis (Afriani et al., 2021). Namun demikian, bukti empiris menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis siswa masih tergolong rendah. Beberapa faktor penyebabnya antara lain kesulitan siswa dalam memecahkan masalah, mengidentifikasi persamaan yang relevan, serta menghubungkan hasil matematis dengan fenomena nyata (Astutik & Prahani, 2018). Kondisi



ini diperkuat oleh hasil *Programme for International Student Assessment (PISA) 2022* yang diselenggarakan OECD. Hasil PISA menunjukkan bahwa siswa Indonesia memperoleh skor rata-rata 360 pada matematika, 360 pada membaca, dan 380 pada sains. Meskipun terdapat sedikit peningkatan dibandingkan tahun sebelumnya, skor tersebut masih berada di bawah rata-rata global. Secara lebih spesifik, hasil PISA 2022 menunjukkan bahwa hanya sekitar 1% siswa Indonesia yang mencapai level kemampuan 5 atau 6, yang menunjukkan kemampuan berpikir kritis tingkat tinggi seperti menganalisis dan mengevaluasi masalah kompleks. Persentase ini jauh di bawah rata-rata OECD sebesar 8–9%. Sebaliknya, sebagian besar siswa berada pada tingkat kemampuan yang sangat rendah.

Kesenjangan antara kemampuan berpikir kritis yang diharapkan dan kondisi nyata dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk faktor sosial budaya, keterbatasan metode pembelajaran, dan pendekatan instruksional (Shofiah et al., 2023.). Faktor internal seperti rendahnya motivasi, kurangnya rasa percaya diri, dan kesiapan kognitif juga turut memengaruhi (Rahmani & Muslihah, 2021). Salah satu permasalahan utama adalah siswa belum terbiasa dilatih untuk menganalisis dan memecahkan masalah dalam konteks pembelajaran yang bermakna. Model pembelajaran yang berpusat pada siswa dan berbasis masalah terbukti efektif meningkatkan rasa percaya diri, kemampuan analisis, dan keterlibatan siswa (Atikah et al., 2023). Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah *collaborative learning* yang menekankan interaksi, kerja sama, dan konstruksi pengetahuan secara bersama.

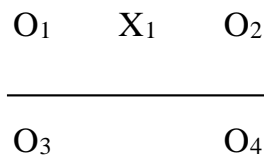
Meskipun memiliki banyak kelebihan, *collaborative learning* konvensional belum tentu mampu secara optimal mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Siswa sering kali hanya berfokus menyelesaikan tugas tanpa melakukan analisis mendalam atau memberikan alasan logis terhadap jawabannya (Rahmani & Muslihah, 2021). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih inovatif yang secara eksplisit mengintegrasikan proses berpikir kritis dan kreatif. Untuk menjawab tantangan tersebut, model pembelajaran *Collaborative Creativity (CC)* hadir sebagai pendekatan inovatif. Model ini mengembangkan *collaborative learning* dengan mengintegrasikan kreativitas dan evaluasi kritis ke dalam proses pembelajaran. Siswa didorong untuk menghasilkan berbagai ide (*divergent thinking*) dan mengevaluasinya secara kritis berdasarkan bukti yang ada (Astutik et al., 2020).

Selain model pembelajaran, penggunaan media pembelajaran yang tepat juga sangat penting untuk mendukung pemahaman siswa, terutama pada materi fisika yang bersifat abstrak. Salah satu media yang efektif adalah laboratorium virtual. Laboratorium virtual memungkinkan siswa melakukan eksperimen melalui perangkat lunak simulasi sehingga dapat diakses secara fleksibel baik secara daring maupun luring (Atikah et al., 2023). Di antara berbagai media virtual, simulasi PhET merupakan salah satu yang paling banyak digunakan karena sifatnya yang interaktif dan visual. PhET membantu siswa memvisualisasikan fenomena kompleks, memanipulasi variabel, dan mengamati hasil secara langsung sehingga konsep abstrak menjadi lebih konkret.

Integrasi model *Collaborative Creativity* dengan simulasi PhET menawarkan pendekatan yang menjanjikan dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. Model CC mendorong diskusi, pertukaran ide, dan argumentasi, sedangkan PhET menyediakan lingkungan interaktif untuk eksperimen dan pengumpulan data. Kombinasi ini memungkinkan siswa menganalisis hubungan sebab-akibat, menarik kesimpulan berdasarkan observasi, dan mengevaluasi hasil eksperimen. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh model pembelajaran *Collaborative Creativity* berbantuan simulasi PhET terhadap keterampilan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran fisika.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain penelitian kuasi eksperimen, khususnya *one-way non-equivalent pre-test-post-test control group design*. Desain ini melibatkan dua kelompok, yaitu kelompok eksperimen dan kelompok kontrol, tanpa pengacakan subjek pada tingkat individu. Kelompok eksperimen diberikan pre-test untuk mengukur kemampuan awal siswa sebelum perlakuan diberikan. Selanjutnya, kelompok tersebut memperoleh pembelajaran menggunakan model *Collaborative Creativity* berbantuan Laboratorium Virtual. Setelah perlakuan selesai dilaksanakan, dilakukan post-test untuk mengukur keterampilan berpikir kritis siswa. Sementara itu, kelompok kontrol juga diberikan pre-test dan post-test, namun pembelajarannya menggunakan model pembelajaran konvensional, yaitu *Discovery Learning*. Dengan membandingkan hasil pre-test dan post-test dari kedua kelompok, pengaruh perlakuan terhadap keterampilan berpikir kritis siswa dapat diketahui. Menurut Sugiyono (2022), desain penelitian tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 1. Desain Penelitian *One-Way Non-Equivalent Pre-test–Post-test Control Group Design***

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siswa kelas XI SMA Negeri 3 Amlapura pada semester ganjil tahun ajaran 2025/2026. Populasi tersebut terdiri atas tiga kelas dengan jumlah keseluruhan 102 siswa. Siswa dikelompokkan secara homogen karena tidak terdapat kelas unggulan maupun kelas khusus. Pembagian siswa telah diatur oleh pihak sekolah sehingga komposisi kemampuan akademik tinggi, sedang, dan rendah tersebar secara merata pada setiap kelas.

**Tabel 1. Tabel Distribusi Populasi**

No	Kelas	Jumlah Siswa
1.	XI 1	33 Siswa
2.	XI 2	35 Siswa
3.	XI 3	35 Siswa
<b>Total</b>		<b>102 Siswa</b>

Sampel penelitian ini terdiri atas dua kelas yang dipilih dari populasi menggunakan teknik *simple random sampling*. Karena siswa telah tergabung dalam kelompok kelas yang tetap, pengacakan pada tingkat individu tidak memungkinkan untuk dilakukan. Oleh karena itu, proses pengambilan sampel dilakukan dengan memilih secara acak dua kelas dari tiga kelas yang tersedia. Setelah kedua kelas terpilih, dilakukan pengundian kembali untuk menentukan kelas yang berperan sebagai kelompok eksperimen dan kelas yang berperan sebagai kelompok kontrol.

**Tabel 2. Distribusi Sampel**

No	Kelas	Jumlah Siswa
1.	Model pembelajaran <i>collaborative creativity</i> berbantuan laboratorium virtual	33 siswa

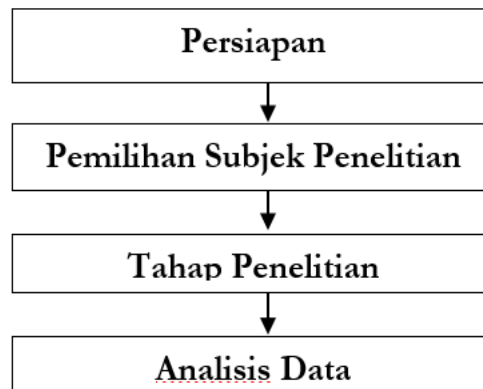


2. Model pembelajaran konvensional ( <i>Discovery Learning</i> )	35 siswa
<b>Total</b>	<b>68 siswa</b>

Berdasarkan desain penelitian dan proses pengambilan sampel yang telah dijelaskan sebelumnya, penelitian ini dilaksanakan secara sistematis melalui empat tahap utama untuk menjamin validitas internal maupun eksternal penelitian. Tahap pertama meliputi persiapan penelitian dan pemilihan subjek penelitian. Pada tahap ini dilakukan kajian literatur mengenai model pembelajaran *Collaborative Creativity*, simulasi PhET, dan keterampilan berpikir kritis, serta analisis kurikulum Fisika kelas XI (Fase F) pada materi gelombang bunyi. Berdasarkan hasil analisis tersebut, disusun perangkat penelitian yang meliputi silabus, rencana pelaksanaan pembelajaran (RPP) untuk kelompok eksperimen dan kelompok kontrol, serta instrumen tes berbentuk esai yang disusun berdasarkan indikator berpikir kritis menurut Ennis dan telah melalui uji validitas serta reliabilitas. Selanjutnya, tahap kedua yaitu populasi diseleksi menggunakan teknik *purposive sampling* untuk memperoleh dua kelas yang memiliki kemampuan awal fisika relatif setara dan diajar oleh guru yang sama. Setelah pelaksanaan pre-test dan uji homogenitas, kedua kelas yang terpilih kemudian ditentukan secara acak sebagai kelompok eksperimen dan kelompok kontrol.

Tahap ketiga adalah pelaksanaan eksperimen. Kedua kelompok terlebih dahulu diberikan pre-test untuk mengukur keterampilan berpikir kritis awal siswa. Selanjutnya, perlakuan eksperimen dilaksanakan selama dua minggu dengan total empat kali pertemuan pembelajaran sesuai alokasi waktu pada materi gelombang bunyi. Kelompok eksperimen diberikan pembelajaran menggunakan model *Collaborative Creativity* berbantuan simulasi PhET, khususnya menggunakan simulasi “Sound”. Sebaliknya, kelompok kontrol memperoleh pembelajaran menggunakan model pembelajaran konvensional tanpa bantuan media laboratorium virtual. Pada akhir perlakuan, kedua kelompok diberikan post-test menggunakan instrumen yang sama dengan pre-test untuk mengukur peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa. Meskipun tidak dapat dipastikan secara absolut bahwa peningkatan hasil belajar hanya disebabkan oleh perlakuan, penelitian ini berupaya meminimalkan pengaruh variabel luar dengan mengendalikan materi pembelajaran, alokasi waktu, instruktur, dan lingkungan belajar selama penelitian berlangsung. Dengan kondisi tersebut, model pembelajaran dan media yang diterapkan menjadi factor utama yang membedakan kondisi sebelum dan sesudah perlakuan sehingga peningkatan skor post-test dapat diinterpretasikan sebagai dampak dari perlakuan yang diberikan.

Tahap terakhir adalah analisis data dan penyusunan laporan penelitian. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan statistik inferensial. Sebelum dilakukan uji hipotesis, terlebih dahulu dilakukan uji prasyarat yang meliputi uji normalitas dan uji homogenitas. Selanjutnya, digunakan *Analysis of Covariance* (ANCOVA) untuk menguji hipotesis penelitian dengan mengontrol pengaruh skor pre-test. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan untuk menarik kesimpulan yang selanjutnya disusun dalam laporan akhir penelitian



**Gambar 2. Alur Penelitian**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Sebelum perlakuan diberikan, baik kelompok eksperimen maupun kelompok kontrol terlebih dahulu diberikan pre-test untuk mengukur kemampuan awal berpikir kritis siswa pada materi gelombang bunyi. Hasil analisis statistik deskriptif menunjukkan bahwa rata-rata skor pre-test kelompok eksperimen adalah 41, sedangkan kelompok kontrol memperoleh rata-rata skor sebesar 35. Data lengkap mengenai hasil pre-test kedua kelompok disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa kemampuan awal berpikir kritis siswa pada kedua kelompok masih berada pada kategori yang rendah sebelum diberikan perlakuan pembelajaran.

**Tabel 3. Rata-rata Hasil Pre-Test**

Kelas	Model Pembelajaran	Mean	Standard Deviation	Kategori
XI 1	Collaborative Creativity (CC)	41	5	Sangat Rendah
XI 2	Konvensional (Discovery Learning)	35	8	Sangat Rendah

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3, kedua kelompok tergolong memiliki tingkat keterampilan berpikir kritis yang sangat rendah. Hal ini terlihat dari keterbatasan kemampuan siswa dalam memberikan penjelasan dasar serta menganalisis argumen fisika yang berkaitan dengan fenomena bunyi. Sebagian besar siswa mengalami kesulitan dalam mengemukakan alasan secara logis, mengidentifikasi konsep yang relevan, dan menghubungkan pengetahuan teoretis dengan situasi nyata. Temuan ini sejalan dengan permasalahan yang dipaparkan pada bagian pendahuluan, yang menekankan rendahnya kemampuan analitis dan berpikir kritis siswa sebelum diterapkannya model pembelajaran inovatif. Rendahnya skor awal tersebut menunjukkan bahwa siswa belum mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi yang diperlukan, sehingga memperkuat pentingnya intervensi pembelajaran yang dirancang untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis.

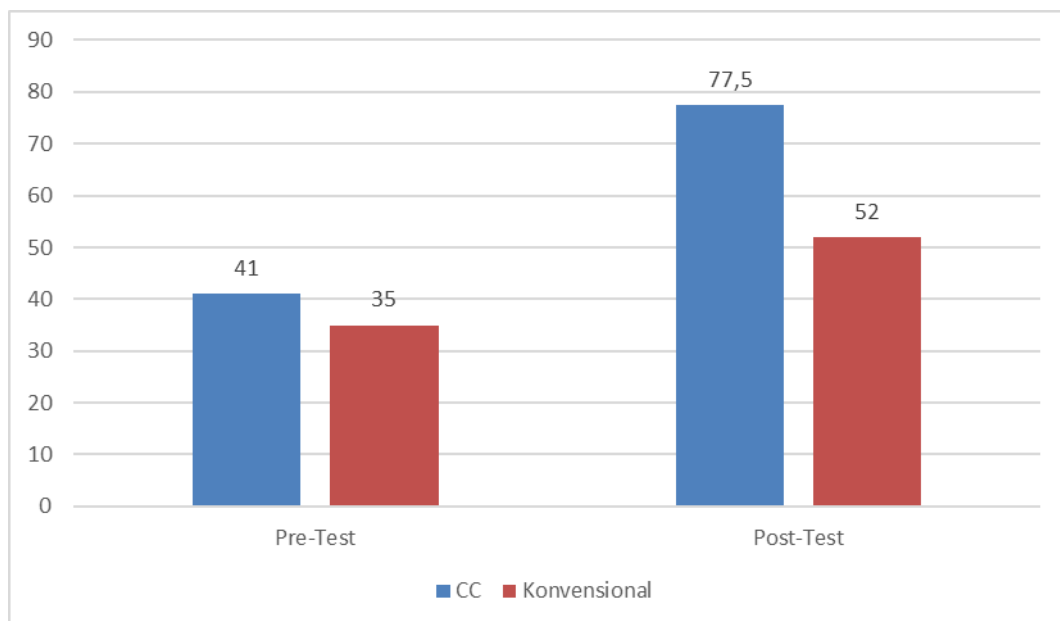
Setelah penerapan model pembelajaran *Collaborative Creativity* (CC) berbantuan simulasi PhET pada kelompok eksperimen dan model pembelajaran konvensional pada kelompok kontrol, terlihat perbedaan yang cukup signifikan pada hasil belajar siswa. Hasil

statistik deskriptif menunjukkan bahwa rata-rata skor post-test kelompok eksperimen mencapai 77,5 yang termasuk dalam kategori baik. Sebagai perbandingan, kelompok kontrol memperoleh rata-rata skor sebesar 51,5 yang termasuk dalam kategori sedang. Data lengkap hasil post-test keterampilan berpikir kritis siswa pada kedua kelompok disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Hasil *Post-Test* Tes Kemampuan Berpikir Kritis**

Kelas	Model Pembelajaran	Mean	Standard Deviation	Kategori
XI 1	Collaborative Creativity (CC)	77,5	8,7	Baik
XI 2	Konvensional (Discovery Learning)	51,5	5,4	Kurang

Data pada Tabel 4 memperlihatkan bahwa perbedaan yang signifikan ini menunjukkan bahwa kelompok eksperimen mengalami peningkatan keterampilan berpikir kritis yang lebih besar dibandingkan kelompok kontrol. Pencapaian yang lebih tinggi pada kelas eksperimen menunjukkan bahwa integrasi model *Collaborative Creativity* dengan simulasi PhET secara efektif mendukung siswa dalam memahami konsep, menganalisis permasalahan, dan menyusun argumen yang logis. Sementara itu, meskipun kelompok kontrol juga mengalami peningkatan, penggunaan metode pembelajaran konvensional tampak kurang efektif dalam mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Temuan ini memperkuat asumsi bahwa pendekatan pembelajaran yang berpusat pada siswa dan bersifat interaktif, khususnya yang menggabungkan kolaborasi, kreativitas, dan media berbasis teknologi, mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa secara signifikan dalam pembelajaran fisika. Perbandingan rata-rata kemampuan berpikir kritis siswa sebelum dan sesudah perlakuan dapat dilihat pada Gambar 3



**Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai Rata-rata Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sebelum dan Setelah Perlakuan**



Berdasarkan Gambar 3, grafik memperlihatkan perbandingan nilai rata-rata kemampuan berpikir kritis siswa sebelum dan setelah perlakuan pada kelompok Collaborative Creativity (CC) dan kelompok konvensional. Pada tahap pre-test, kelompok CC memperoleh rata-rata skor 41 sedangkan kelompok konvensional sebesar 35. Setelah perlakuan, skor post-test meningkat menjadi 77,5 pada kelompok CC dan 52 pada kelompok konvensional. Peningkatan yang lebih besar pada kelompok CC menunjukkan bahwa model *Collaborative Creativity* berbantuan simulasi PhET lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa dibandingkan pembelajaran konvensional.

### **Pembahasan**

Berdasarkan Tabel 3 dan 4, dapat diketahui bahwa sebelum perlakuan diberikan, keterampilan berpikir kritis siswa pada materi gelombang bunyi tergolong sangat rendah. Rata-rata skor pre-test pada kelompok eksperimen adalah 41,0 sedangkan pada kelompok kontrol sebesar 35,0. Temuan ini menunjukkan bahwa pada tahap awal siswa masih memiliki kemampuan yang terbatas dalam menganalisis permasalahan, menyusun argumen, dan mengaitkan konsep-konsep fisika dengan fenomena yang terjadi dalam kehidupan nyata.

Namun, setelah penerapan model pembelajaran *Collaborative Creativity* (CC) berbantuan simulasi PhET, terjadi peningkatan yang cukup signifikan pada kelompok eksperimen. Rata-rata skor post-test meningkat menjadi 77,5 yang termasuk dalam kategori baik, dengan peningkatan sekitar 89%. Sebaliknya, kelompok kontrol hanya mengalami peningkatan sekitar 48% dengan rata-rata skor mencapai 52,0 yang termasuk dalam kategori rendah. Perbedaan ini menunjukkan bahwa model CC yang didukung media laboratorium virtual lebih efektif dibandingkan pendekatan pembelajaran konvensional.

Lebih lanjut, efektivitas model pembelajaran *Collaborative Creativity* berbantuan media simulasi PhET tidak hanya terlihat dari peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa secara keseluruhan, tetapi juga pada setiap indikator kemampuan berpikir kritis yang meliputi: (D1) fokus pada pertanyaan atau masalah, (D2) menganalisis argumen, (D3) mempertimbangkan kredibilitas sumber, (D4) membuat dan mengevaluasi inferensi, serta (D5) menentukan tindakan atau solusi. Berdasarkan hasil analisis, seluruh indikator mengalami peningkatan setelah diterapkan model pembelajaran tersebut. Pada indikator fokus pada pertanyaan atau masalah (D1), nilai rata-rata siswa meningkat dari 44,7 menjadi 81,1. Peningkatan ini menunjukkan bahwa siswa menjadi lebih mampu memahami inti permasalahan serta mengidentifikasi informasi yang relevan selama proses pembelajaran. Kondisi ini terjadi karena aktivitas kolaboratif dan eksploratif dalam pembelajaran mendorong siswa untuk lebih aktif memperhatikan permasalahan yang diberikan dan mendiskusikannya.

Pada indikator menganalisis argumen (D2), nilai rata-rata meningkat dari 43,6 menjadi 76,1. Hasil ini menunjukkan bahwa siswa mulai mampu menguraikan informasi, menghubungkan konsep, serta mempertimbangkan hubungan logis antarargumen dengan lebih baik. Peningkatan tersebut didukung oleh kegiatan diskusi kelompok dalam model *Collaborative Creativity* yang memberikan kesempatan kepada siswa untuk bertukar ide, mempertahankan pendapat, dan menanggapi argumen teman secara kritis. Temuan ini sejalan dengan penelitian Marina et al. (2024) yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis *guided inquiry* berbantuan simulasi PhET mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa secara signifikan, khususnya pada aspek analisis dan penalaran ilmiah.

Selanjutnya, indikator memberikan penjelasan (D3) juga mengalami peningkatan dari 38,3 menjadi 72,0. Hal ini menunjukkan bahwa siswa semakin mampu menyampaikan ide dan



penjelasan secara lebih sistematis serta logis setelah mengikuti pembelajaran berbantuan simulasi PhET. Visualisasi konsep melalui simulasi interaktif membantu siswa memahami fenomena fisika yang abstrak sehingga mempermudah mereka dalam menjelaskan konsep secara ilmiah. Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian Khaeruddin dan Bancong (2022) yang menyatakan bahwa integrasi pembelajaran STEM dengan simulasi PhET efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis karena siswa memperoleh pengalaman belajar yang lebih visual, interaktif, dan kontekstual.

Peningkatan juga terjadi pada indikator menarik kesimpulan (D4), yaitu dari 38,6 menjadi 75,4. Hasil tersebut menunjukkan bahwa siswa menjadi lebih terampil dalam menyusun inferensi berdasarkan data dan hasil pengamatan yang diperoleh selama proses pembelajaran. Penggunaan simulasi PhET memungkinkan siswa melakukan eksplorasi dan pengujian konsep secara langsung sehingga membantu mereka membangun kesimpulan yang lebih rasional dan berbasis bukti. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Zachrien et al. (2025) yang menemukan bahwa penggunaan strategi REACT berbantuan PhET memberikan peningkatan signifikan terhadap kemampuan berpikir kritis siswa pada materi gelombang mekanik.

Peningkatan paling tinggi terjadi pada indikator mengevaluasi argumen dan sumber (D5), yaitu dari 37,5 menjadi 82,2. Hal ini menunjukkan bahwa siswa semakin mampu menilai keakuratan informasi, mempertimbangkan validitas sumber, serta mengevaluasi solusi atau argumen yang muncul dalam diskusi. Tingginya peningkatan pada indikator ini menunjukkan bahwa model pembelajaran *Collaborative Creativity* berbantuan media simulasi PhET efektif dalam melatih kemampuan berpikir kritis tingkat tinggi, khususnya dalam aspek evaluatif yang menuntut siswa untuk berpikir reflektif dan analitis. Hasil penelitian ini juga diperkuat oleh Salsabila et al. (2024) yang menyatakan bahwa penggunaan simulasi PhET memberikan dampak positif terhadap kemampuan evaluasi dan analisis siswa karena pembelajaran menjadi lebih aktif dan berbasis eksplorasi.

Hasil uji one-way *Analysis of Covariance* (ANCOVA) semakin memperkuat signifikansi statistik dari peningkatan tersebut dengan nilai signifikansi  $p = 0,001$  yang lebih kecil dari  $\alpha = 0,05$ . Hasil ini menunjukkan bahwa hipotesis nol ( $H_0$ ) ditolak, yang berarti terdapat pengaruh signifikan model pembelajaran *Collaborative Creativity* berbantuan PhET terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Selain itu, nilai *Adjusted R Squared* sebesar 0,79 menunjukkan bahwa sekitar 79% variasi keterampilan berpikir kritis siswa dapat dijelaskan oleh model pembelajaran yang diterapkan.

Penggunaan ANCOVA dalam penelitian ini memiliki peran penting dalam mengontrol variabel kovariat, yaitu skor pre-test. Hal ini memastikan bahwa perbedaan yang muncul pada hasil post-test benar-benar mencerminkan pengaruh perlakuan, bukan disebabkan oleh perbedaan kemampuan awal siswa. Oleh karena itu, temuan penelitian ini memberikan bukti empiris yang kuat mengenai efektivitas model CC yang dipadukan dengan simulasi PhET. Dari perspektif teoritis, keberhasilan pendekatan ini dapat dijelaskan melalui sintaks model *Collaborative Creativity* yang mendorong siswa untuk melakukan refleksi ketika menghasilkan dan mengevaluasi solusi kreatif (Ennis dalam Zakiah & Lestari, 2019). Proses tersebut semakin diperkuat dengan visualisasi real-time yang disediakan oleh simulasi PhET, sehingga siswa dapat memvalidasi konsep abstrak terkait gelombang bunyi melalui eksperimen interaktif.

Sinergi antara pembelajaran kolaboratif dan verifikasi empiris melalui teknologi laboratorium virtual menciptakan lingkungan belajar yang lebih bermakna dan transformatif. Siswa tidak hanya terlibat dalam interaksi sosial dan pertukaran ide, tetapi juga dituntut untuk





menganalisis data, mengevaluasi bukti, serta menyusun argumen logis secara sistematis. Pendekatan ini terbukti jauh lebih efektif dibandingkan metode pembelajaran konvensional dalam mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi, khususnya kemampuan analisis dan evaluasi (Nath et al., 2024). Selain itu, temuan ini juga memberikan solusi praktis terhadap rendahnya literasi sains siswa Indonesia sebagaimana tercermin dalam hasil PISA 2022. Dengan mengintegrasikan model pembelajaran inovatif dan media berbasis teknologi, pendidik dapat lebih efektif memfasilitasi pengembangan keterampilan berpikir kritis yang dibutuhkan pada abad ke-21.

Berdasarkan temuan tersebut, hasil penelitian ini sejalan dengan perspektif teoritis maupun penelitian empiris sebelumnya yang menunjukkan bahwa pembelajaran kolaboratif yang dipadukan dengan media simulasi interaktif berkontribusi signifikan terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan model pembelajaran *Collaborative Creativity* berkontribusi positif terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa. Peningkatan tersebut terjadi karena model ini memberikan kesempatan kepada siswa untuk aktif berdiskusi, bertukar ide, mengemukakan pendapat, serta memecahkan masalah secara kolaboratif. Melalui proses interaksi dan kerja sama tersebut, siswa terdorong untuk melakukan analisis, evaluasi, dan penyusunan solusi secara lebih mendalam sehingga kemampuan berpikir tingkat tinggi dapat berkembang dengan lebih optimal. Kondisi ini sejalan dengan pandangan bahwa pembelajaran kolaboratif mampu menciptakan lingkungan belajar yang mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah (Yusal et al., 2025).

Dari sudut pandang teoritis, temuan ini dapat dijelaskan melalui teori konstruktivisme sosial yang dikemukakan oleh Vygotsky (1978), yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun melalui interaksi sosial (Kilpeläinen et al., 2025). Dalam konteks ini, aktivitas kolaboratif memungkinkan siswa membangun pemahaman melalui negosiasi makna dan pertukaran ide. Selain itu, teori *cooperative learning* yang dikembangkan oleh Johnson dan Johnson (1999) menyatakan bahwa ketergantungan positif antaranggota kelompok dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis karena siswa dihadapkan pada berbagai perspektif yang dapat menantang sekaligus menyempurnakan penalaran mereka (Chen et al., 2024).

Selain aspek kolaboratif, peran media simulasi interaktif juga semakin memperkuat temuan penelitian ini. Penelitian sebelumnya oleh Banda dan Nzabahimana (2023) menunjukkan bahwa penggunaan simulasi interaktif dalam pembelajaran sains dapat meningkatkan keterlibatan siswa serta mempermudah pemahaman konsep abstrak. Hal ini sejalan dengan teori *multimedia learning* yang dikemukakan Mayer (2009), yang menyatakan bahwa integrasi media visual dan interaktif dapat meningkatkan pemahaman konseptual melalui keterlibatan proses kognitif visual dan verbal secara bersamaan (Ahzari & Akmam, 2025). Selain itu, simulasi interaktif seperti PhET mendukung *inquiry-based learning* yang memungkinkan siswa mengeksplorasi konsep secara mandiri, memanipulasi variabel, dan menguji hipotesis. Hal ini sesuai dengan teori *inquiry-based learning* dari Bruner (1961) yang menekankan pentingnya penemuan aktif dalam mengembangkan pemahaman mendalam dan keterampilan berpikir kritis. Dengan demikian, integrasi pembelajaran kolaboratif dan simulasi interaktif tidak hanya mendukung kerangka teoritis, tetapi juga memberikan bukti empiris yang kuat dalam menciptakan lingkungan belajar yang efektif untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis pada pembelajaran fisika.

Melanjutkan pembahasan sebelumnya, efektivitas model pembelajaran *Collaborative Creativity* (CC) berbantuan simulasi PhET juga dapat dipahami melalui kekuatan pedagogisnya





dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa. Secara umum, model CC memiliki beberapa keunggulan. Pertama, model ini menekankan aktivitas kolaboratif yang memungkinkan siswa bertukar ide dan mempertimbangkan berbagai perspektif dalam memecahkan masalah. Kedua, model ini mendorong munculnya ide-ide kreatif yang kemudian dievaluasi secara kritis sehingga mampu mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Ketiga, model ini meningkatkan keterlibatan aktif siswa melalui diskusi, presentasi, dan eksplorasi konsep. Hal ini sejalan dengan pendapat Ennis (2011) yang menyatakan bahwa berpikir kritis mencakup kemampuan menganalisis, mengevaluasi, dan mengambil keputusan secara rasional.

Peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa dalam penelitian ini juga berkaitan erat dengan tahapan (sintaks) model *Collaborative Creativity* yang terstruktur. Setiap tahap dirancang untuk mengembangkan indikator utama berpikir kritis, yaitu interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan penjelasan (Facione, 1998; Astutik et al., 2020). Pada tahap orientasi masalah, siswa dilatih untuk memahami dan menginterpretasikan informasi yang berkaitan dengan indikator interpretasi. Tahap eksplorasi ide kolaboratif mendorong siswa menguraikan informasi dan mengidentifikasi hubungan antar konsep sehingga mendukung kemampuan analisis. Selanjutnya, tahap pengembangan dan pemilihan ide melatih kemampuan evaluasi siswa melalui proses menilai dan membandingkan berbagai alternatif solusi. Pada tahap implementasi dan pengujian ide yang didukung simulasi interaktif, siswa melakukan eksperimen virtual dan menarik kesimpulan berdasarkan data empiris sehingga memperkuat kemampuan inferensi. Tahap terakhir, yaitu presentasi dan refleksi, mengembangkan kemampuan siswa dalam menjelaskan penalarannya secara logis dan sistematis. Temuan ini sejalan dengan penelitian Hake (1998) (Yusal et al., 2025) yang menunjukkan bahwa metode pembelajaran berbasis keterlibatan interaktif jauh lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman konseptual dibandingkan pembelajaran tradisional. Oleh karena itu, integrasi model *Collaborative Creativity* dengan media simulasi interaktif tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep, tetapi juga secara efektif mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa melalui proses pembelajaran yang aktif, kolaboratif, eksploratif, dan reflektif.

Sebagai pembanding, kelompok kontrol dalam penelitian ini diajar menggunakan model *Discovery Learning*. Pada dasarnya, model ini memberikan kesempatan kepada siswa untuk menemukan konsep secara mandiri melalui tahapan stimulasi, identifikasi masalah, pengumpulan data, pengolahan data, verifikasi, dan penarikan kesimpulan. Setiap tahap tersebut berpotensi mengembangkan keterampilan berpikir kritis. Misalnya, tahap identifikasi masalah melatih kemampuan interpretasi siswa, sedangkan tahap pengumpulan dan pengolahan data mendukung kemampuan analisis. Tahap verifikasi dan penarikan kesimpulan juga melibatkan kemampuan evaluasi dan penalaran logis.

Namun demikian, dalam praktiknya penerapan *Discovery Learning* pada kelompok kontrol belum mampu mengoptimalkan interaksi kolaboratif maupun penggunaan media pembelajaran berbasis teknologi. Proses pembelajaran cenderung menekankan penemuan individu sehingga kesempatan siswa untuk berdiskusi mendalam, bertukar ide, dan mengevaluasi solusi alternatif menjadi terbatas (Khasinah, 2021). Kondisi ini dapat menghambat perkembangan keterampilan berpikir kritis, terutama pada aspek analisis, evaluasi, dan argumentasi yang memerlukan interaksi sosial dan pertukaran intelektual. Selain itu, keterbatasan penggunaan media pembelajaran interaktif pada kelompok kontrol juga memengaruhi pemahaman konsep siswa, khususnya pada materi fisika yang abstrak seperti gelombang bunyi. Tanpa visualisasi atau simulasi yang memadai, siswa sering mengalami



kesulitan dalam menghubungkan konsep dengan fenomena nyata sehingga hasil belajar menjadi kurang optimal (Mukarima et al., 2024). Hal ini berbeda dengan kelompok eksperimen, di mana simulasi interaktif membantu eksplorasi konsep secara lebih konkret. Oleh karena itu, meskipun *Discovery Learning* berkontribusi terhadap pemahaman konsep siswa, efektivitasnya dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis relatif lebih rendah dibandingkan model *Collaborative Creativity* berbantuan simulasi PhET. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh variasi keterlibatan siswa, intensitas interaksi kolaboratif, dan penggunaan media pembelajaran.

Meskipun penelitian ini menunjukkan hasil yang positif, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, penelitian hanya dilakukan pada satu sekolah dengan jumlah sampel yang relatif kecil sehingga membatasi generalisasi hasil penelitian ke populasi yang lebih luas atau konteks pendidikan yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melibatkan sampel yang lebih besar dan beragam untuk meningkatkan validitas eksternal. Kedua, penelitian ini terutama menggunakan tes tertulis untuk mengukur keterampilan berpikir kritis siswa. Walaupun instrumen telah dikembangkan berdasarkan indikator berpikir kritis yang mapan, penilaian tertulis saja belum sepenuhnya mampu menggambarkan kompleksitas keterampilan berpikir kritis. Dalam praktiknya, kemampuan berpikir kritis juga tercermin melalui aktivitas belajar siswa, seperti partisipasi dalam diskusi, kemampuan mengemukakan ide, kualitas argumentasi, dan strategi pemecahan masalah. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan metode penilaian yang lebih beragam, seperti observasi, wawancara, dan penilaian berbasis kinerja agar diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai keterampilan berpikir kritis siswa.

Selain itu, penggunaan media pembelajaran berbasis teknologi dalam penelitian ini juga memiliki keterbatasan tertentu. Efektivitas simulasi interaktif sangat bergantung pada ketersediaan fasilitas pendukung seperti komputer, akses internet, dan kemampuan literasi digital siswa. Perbedaan kemampuan siswa dalam menggunakan teknologi dapat memengaruhi efektivitas perlakuan dan hasil penelitian. Dengan mempertimbangkan keterbatasan tersebut, penelitian selanjutnya diharapkan dapat memperluas cakupan penelitian dengan melibatkan sampel yang lebih beragam, memperpanjang durasi penelitian, dan menggunakan instrumen penilaian yang lebih autentik dan variatif. Selain itu, penelitian berikutnya juga dapat mengeksplorasi penerapan model *Collaborative Creativity* pada materi fisika lain maupun jenjang pendidikan yang berbeda, serta mengintegrasikannya dengan pendekatan pembelajaran lainnya. Upaya tersebut diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai efektivitas model ini dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penerapan model pembelajaran *Collaborative Creativity* (CC) berbantuan simulasi PhET berpengaruh positif terhadap keterampilan berpikir kritis siswa pada pembelajaran fisika materi gelombang bunyi. Model tersebut terbukti lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. Temuan penelitian menunjukkan bahwa integrasi pembelajaran kolaboratif dengan simulasi interaktif mampu menciptakan proses pembelajaran yang lebih aktif, bermakna, dan berpusat pada siswa. Melalui kegiatan diskusi, pertukaran ide, eksplorasi konsep, dan pemecahan masalah berbantuan simulasi, siswa memperoleh kesempatan yang lebih luas untuk mengembangkan kemampuan menganalisis, mengevaluasi, menarik kesimpulan, serta menyusun argumen secara logis.



Implikasi penelitian ini menunjukkan bahwa model *Collaborative Creativity* berbantuan simulasi PhET dapat dijadikan sebagai alternatif pembelajaran yang efektif untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran fisika sekaligus memperkuat pentingnya integrasi interaksi sosial dan teknologi dalam proses pembelajaran. Oleh karena itu, penggunaan model pembelajaran inovatif yang berpusat pada siswa dan didukung media interaktif direkomendasikan sebagai strategi untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dalam menghadapi tantangan abad ke-21. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menerapkan model ini pada materi fisika yang berbeda, jenjang pendidikan yang lebih beragam, serta melibatkan sampel yang lebih luas guna memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas model pembelajaran tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., & Munawwaroh, F. (2024). Problem Based Learning untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. *Jurnal Educatio FKIP UNMA*, 10(1), 155-162. <https://ejournal.unma.ac.id/index.php/educatio/article/download/6313/4421>
- Afriani, S., Affandi, L. H., Nur, A., & Rosyidah, K. (2021). Analisis tantangan guru dalam menerapkan pembelajaran matematika yang inovatif di SDN Tundung Kecamatan Batukliang Tahun Ajaran 2020/2021. *Jurnal Literasi dan Pembelajaran Indonesia*, 1(1), 1-5. <https://jurnalfkip.samawa-university.ac.id/JLPI/article/view/1>
- Ahzari, S., & Akmam. (2025). Analyzing students' critical thinking as a basis for developing interactive physics multimedia with generative learning and cognitive conflict strategies. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 13(2), 163-176. <https://doi.org/10.26618/jpf.v13i2.17702>
- Astutik, S., & Prahani, B. K. (2018). The practicality and effectiveness of Collaborative Creativity Learning (CCL) model by using PhET simulation to increase students' scientific creativity. *International Journal of Instruction*, 11(4), 409-424. <https://doi.org/10.12973/iji.2018.11426a>
- Astutik, S., Susantini, E., Madlazim, Nur, M., & Supeno. (2020). The effectiveness of collaborative creativity learning models (CCL) on secondary schools scientific creativity skills. *International Journal of Instruction*, 13(3), 525-238. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13336a>
- Atikah, C., Achyani, A., & Muhfahroyin, M. (2023). Pengembangan Laboratorium Virtual Sebagai Media Praktikum Alternatif Pada Mata Pelajaran Biologi Di Sma. *Biolova*, 4(2), 174-185. <https://doi.org/10.24127/biolova.v4i2.3737>
- Banda, H. J., & Nzabahimana, J. (2023). The impact of Physics Education Technology (PhET) interactive simulation-based learning on motivation and academic achievement among Malawian physics students. *Journal of Science Education and Technology*, 32(1), 127-141. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-10010-3>
- Khaeruddin, & Bancong, H. (2022). STEM education through PhET simulations: An effort to enhance students' critical thinking skills. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 11(1), 35-45. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v11i1.10998>
- Chen, M., She, H., & Tsai, P. (2024). The effects of online simulation-based collaborative problem-solving on students' problem-solving, communication and collaboration attitudes. *Education and Information Technologies*, 29(14), 19141-19162. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12609-y>
- Khasinah, S. (2021). Discovery Learning: Definisi, Sintaksis, Keunggulan dan Kelemahan.



- Jurnal MUDARRISUNA: Media Kajian Pendidikan Agama Islam*, 11(3), 402.  
<https://doi.org/10.22373/jm.v11i3.5821>
- Kilpeläinen, J., Pekka, P., & Antti, K. (2025). Cooperative Learning in Higher Education Physics – A Systematic Literature Review. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23(7), 2707–2729. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10538-3>
- Marina, D., Marwanti, K., & Astra, I. M. (2024). Improving critical thinking using a guided inquiry approach assisted by PhET simulations in wave material. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 15(4), 367-371. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v15i4.717>
- Mukarima, U. S., Wawan, W., Setiawan, A., Ningsih, E. F., & Choirudin, C. (2024). Penerapan Model Pembelajaran Berbasis Masalah dengan Media Pembelajaran Magic Board untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis. *Jurnal Penelitian Tindakan Kelas*, 1(3), 152–155. <https://doi.org/10.61650/jptk.v1i3.367>
- Nath, S., Peridis, C., Benjamin, E., Liu, X., Kolouri, S., Kinnell, P., ... & Soltoggio, A. (2025). Collaborative learning in agentic systems: A collective ai is greater than the sum of its parts. *arXiv e-prints*, arXiv-2506. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.05577>
- Nusroh, H., Khalif, M. A., & Saputri, A. A. (2022). Developing Physics Learning Media Based on Augmented Reality to Improve Students ' Critical Thinking Skills. *Physics Education Research Journal*, 4(1), 23-28. <https://doi.org/10.21580/perj.2022.4.1.10912>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023). *PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
- Rahardhian, A. (2022). Kajian Kemampuan Berpikir Kritis (Critical Thinking Skill) Dari Sudut Pandang Filsafat. *Jurnal Filsafat Indonesia*, 5(2), 87–94. <https://doi.org/10.23887/jfi.v5i2.42092>
- Rahmani, A. M., & Muslihah, N. N. (2021). Pengaruh Model Pembelajaran Quantum Learning Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa. *Bale Aksara*, 1(2), 116–124. <https://doi.org/10.31980/ba.v1i2.941>
- Salsabila, N., Wuryandani, W., Saptono, B., & Hastuti, W. S. (2024). PhET Simulation on Critical Thinking Skills of Preservice Elementary Teachers ( PETs ) in Science Learning. *Journal of Education Technology*, 8(4), 715-724. <https://doi.org/10.23887/jet.v8i4.86727>
- Shofiah, S., Bachtiar, E., Permatasari, D. K., Syahropi, H., Zaman, N., Salam, Nurhemah, N., Djollong, A. F., Wahyu, D. A., Alinurdin, Putri, M. F. J. L., Rostiani, T., Haryani, Ladisa, S., Jannah, M., & Hidayat, N. (2023). *Dasar-dasar evaluasi pembelajaran*. PT. Mifandi Mandiri Digital.
- Sugiyono. (2022). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D (Edisi 2, Cetakan ke-29)*. Alfabeta.
- Trisanti, D. D. T., Supriadi, B., & Prastowo, S. H. B. (2022). Pengaruh Model Collaborative Creativity Berbantuan Phet Simulation Terhadap Hasil Belajar Fisika Siswa. *ORBITA: Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Fisika*, 8(2), 293. <https://doi.org/10.31764/orbita.v8i2.9516>
- Villayah, S., & Suliyanah, S. (2025). Contextual Mobile Learning in Physics: Egrang-Based Digital Worksheets for Developing Critical Thinking Skills. *Advances in Mobile Learning Educational Research*, 5(2), 1548-1559. <https://doi.org/10.25082/AMLER.2025.02.010>



- Yusal, Y., Anggraini, A., Maiyanti, A. A., Laili, U. F., & Wulandari, R. W. (2025, May). The Influence of Collaborative Problem-Solving by Foam as Various Visual Media on Students' Critical Thinking Skills. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Sciences, Mathematics, and Education 2023 (ICOSMED 2023)* (p. 323). Springer Nature.
- Zachrien, R., Dwi, Q., Kaniawati, I., & Rusnayati, H. (2025). Implementation of the REACT Strategy Assisted by PhET Simulation to Improve Critical Thinking Skills on the Mechanical Wave Characteristics Topic. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 16(2), 169-178. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v16i2.1846>
- Zakiah, L., & Lestari, I. (2019). *Berpikir kritis dalam konteks pembelajaran*. Erzatama Karya Abadi.