

Pengaruh Integrasi *Problem Based Learning* dan Simulasi PhET terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Pada Materi Fluida Statis

¹Alfia Al Inaya*, ¹I Wayan Gunada, ¹Muh. Makhrus

¹Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.70115/cahaya.v4i3.764>

Article Info	ABSTRACT
Article history Received: August 21, 2026 Revised: September 13, 2026 Accepted: September 14, 2026 Published: Sept 16, 2026	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh model <i>Problem Based Learning</i> (PBL) berbantuan simulasi PhET terhadap kemampuan berpikir kritis peserta didik pada materi fluida statis. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis kuasi eksperimen dan desain <i>Non-equivalent Control Group Design</i>. Populasi penelitian adalah seluruh peserta didik kelas XI MIPA SMA Negeri 1 Gunungsari Tahun Ajaran 2025/2026. Sampel ditentukan melalui purposive sampling, yaitu kelas XI-C sebagai kelas eksperimen dan XI-F sebagai kelas kontrol, masing-masing 32 peserta didik. Data dikumpulkan menggunakan tes uraian kemampuan berpikir kritis yang telah melalui pengujian validitas, reliabilitas, tingkat kesukaran, dan daya pembeda. Pada kelas eksperimen, PhET digunakan sebagai media eksperimen virtual terutama pada tahap penyelidikan PBL untuk memanipulasi variabel, menguji prediksi, dan memperoleh bukti. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata posttest kelas eksperimen sebesar 80,00, lebih tinggi daripada kelas kontrol sebesar 71,77. Uji t menghasilkan signifikansi $0,001 < 0,05$. Nilai N-gain kelas eksperimen sebesar 0,6545 dan kelas kontrol sebesar 0,4495, keduanya kategori sedang. Temuan menunjukkan bahwa PBL berbantuan PhET memberikan peningkatan kemampuan berpikir kritis yang lebih tinggi dibandingkan pembelajaran konvensional. Secara praktis, integrasi ini dapat menjadi alternatif pembelajaran fisika yang mendorong peserta didik mengidentifikasi masalah, menyelidiki hubungan antarvariabel, mengevaluasi bukti, dan menjelaskan solusi. Penelitian selanjutnya perlu menguji penerapan pada materi dan konteks sekolah yang berbeda serta melaporkan ukuran efek secara lengkap.
Keywords kemampuan berpikir kritis; fluida statis; pembelajaran fisika; <i>Problem Based Learning</i> ; simulasi PhET.	
Corresponding Author Alfia Al Inaya Universitas Mataram, Mataram, Indonesia *E-mail: alfiaalinayanaya@gmail.com	
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.	



Copyright © 2026 Alfia Al Inaya, I Wayan Gunada, Muh. Makhrus

How to Cite:

Example: Inayah, A.A, et al. (2025). Pengaruh Integrasi *Problem Based Learning* dan Simulasi PhET terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Pada Materi Fluida Statis. CAHAYA: Journal of Research on Science Education, 4(3), 274-288. <https://doi.org/10.70115/cahaya.v4i3.764>

PENDAHULUAN

Perkembangan pendidikan abad ke-21 menempatkan kemampuan berpikir kritis sebagai salah satu kompetensi utama karena peserta didik perlu mampu menilai bukti, menganalisis informasi, menguji argumen, dan mengambil keputusan berdasarkan alasan yang logis ketika menghadapi berbagai persoalan kompleks (Anggraeni et al., 2023; Liu & Pásztor, 2022). Kemampuan tersebut semakin penting dalam pendidikan sains karena keberhasilan belajar tidak cukup ditunjukkan melalui penguasaan informasi, tetapi juga melalui kemampuan melakukan interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan penjelasan berdasarkan bukti ilmiah (Facione, 2015; Susilawati et al., 2020). Kondisi pendidikan di Indonesia menunjukkan bahwa penguatan kemampuan tersebut masih menjadi tantangan karena hasil PISA 2022 mencatat skor rata-rata sains peserta didik Indonesia sebesar 383, sedangkan rata-rata negara OECD mencapai 485 (OECD, 2023). PISA 2022 juga menunjukkan bahwa hanya 34% peserta didik Indonesia mencapai tingkat kemahiran Level 2 atau lebih dalam sains, jauh lebih rendah dibandingkan rata-rata OECD sebesar 76%, sehingga penguatan kemampuan menggunakan pengetahuan ilmiah untuk menjelaskan fenomena dan menilai kesimpulan berdasarkan data masih diperlukan (OECD, 2023).

Pendidikan memiliki posisi strategis dalam membangun kemampuan berpikir tingkat tinggi karena proses pembelajaran menjadi ruang bagi peserta didik untuk mengembangkan penalaran, pemecahan masalah, kreativitas, dan kemampuan mengambil keputusan secara bertanggung jawab (Anggraeni et al., 2023; Liu & Pásztor, 2022). Persoalan kemampuan berpikir kritis pada peserta didik Indonesia juga terlihat dalam penelitian Susilawati et al. (2020), yang menemukan bahwa 64% siswa SMA berada pada kategori kemampuan berpikir kritis rendah, 15% berada pada kategori sangat rendah, dan hanya 21% berada pada kategori sedang (Susilawati et al., 2020). Temuan tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran yang hanya berorientasi pada penguasaan materi belum cukup untuk membantu peserta didik menghadapi persoalan yang membutuhkan analisis, pertimbangan bukti, dan penarikan kesimpulan secara rasional (Susilawati et al., 2020; Anggraeni et al., 2023). Oleh karena itu, pembelajaran perlu dirancang untuk memberikan kesempatan kepada peserta didik terlibat secara aktif dalam proses penyelidikan, pemecahan masalah, pengujian gagasan, dan refleksi terhadap solusi yang diperoleh (Liu & Pásztor, 2022; Aini et al., 2021).

Kebutuhan tersebut menjadi semakin penting dalam pembelajaran fisika karena konsep fisika tidak hanya melibatkan hubungan matematis, tetapi juga menuntut kemampuan peserta didik menghubungkan representasi simbolik, fenomena nyata, dan penjelasan konseptual secara terpadu (Khaeruddin & Bancong, 2022; Hasyim et al., 2020). Materi fluida statis, termasuk tekanan hidrostatis, Hukum Pascal, dan Hukum Archimedes, memuat hubungan antarkonsep dan antarvariabel yang lebih mudah dipahami ketika peserta didik memperoleh kesempatan untuk mengamati serta memanipulasi representasi fenomenanya secara langsung atau virtual (Permana et al., 2021; Khaeruddin & Bancong, 2022). Pembelajaran yang terlalu menekankan penggunaan persamaan matematis tanpa penguatan pemahaman konseptual berpotensi membuat peserta didik menghafal prosedur penyelesaian tanpa memahami alasan ilmiah yang mendasarinya (Hasyim et al., 2020; Anggraeni et al., 2023). Karena itu, pembelajaran fisika memerlukan strategi yang mengintegrasikan pemecahan masalah dengan pengalaman visual

dan eksperimental agar peserta didik dapat menguji hubungan antarvariabel sekaligus membangun argumentasi berdasarkan bukti (Khaeruddin & Bancong, 2022; Hasyim et al., 2020).

Permasalahan tersebut juga ditemukan pada kondisi awal pembelajaran fisika di SMAN 1 Gunungsari, ketika peserta didik cenderung langsung menggunakan persamaan matematis saat menyelesaikan soal tanpa terlebih dahulu mengidentifikasi informasi, hubungan antarvariabel, dan konsep fisika yang relevan dengan masalah yang diberikan (Guru fisika SMAN 1 Gunungsari, komunikasi pribadi, 8 Desember 2025). Kebiasaan tersebut menyebabkan peserta didik relatif lebih mudah menyelesaikan soal rutin, tetapi mengalami kesulitan ketika menghadapi masalah yang membutuhkan penafsiran situasi, analisis informasi, pemilihan prinsip fisika, dan penjelasan alasan terhadap jawaban yang diberikan (Guru fisika SMAN 1 Gunungsari, komunikasi pribadi, 8 Desember 2025; Susilawati et al., 2020). Hasil wawancara awal juga menunjukkan bahwa pembelajaran masih didominasi pendekatan konvensional, sedangkan penggunaan media berbasis teknologi belum dimanfaatkan secara optimal untuk mendukung keterlibatan peserta didik dalam proses belajar (Guru fisika SMAN 1 Gunungsari, komunikasi pribadi, 8 Desember 2025). Materi fluida statis yang memerlukan visualisasi hubungan tekanan, kedalaman, gaya, luas penampang, massa jenis, dan gaya apung juga belum didukung secara memadai melalui media interaktif yang memungkinkan peserta didik melakukan eksplorasi variabel secara mandiri (Guru fisika SMAN 1 Gunungsari, komunikasi pribadi, 8 Desember 2025; Permana et al., 2021). Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara tuntutan pembelajaran yang berorientasi pada kemampuan berpikir kritis dan praktik pembelajaran yang masih cenderung menempatkan peserta didik sebagai penerima informasi dan pengguna prosedur matematis (OECD, 2023; Susilawati et al., 2020). Permasalahan pembelajaran yang masih bersifat prosedural juga sejalan dengan temuan penelitian di CAHAYA mengenai kesulitan peserta didik pada topik fluida, yang menunjukkan kecenderungan menggunakan prosedur dan rumus tanpa pemahaman konseptual yang memadai (Mutia & Chusni, 2026).

Salah satu model pembelajaran yang relevan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah Problem Based Learning (PBL), karena model ini menjadikan masalah autentik atau kontekstual sebagai titik awal bagi peserta didik untuk membangun pengetahuan melalui proses penyelidikan dan pemecahan masalah (Anggraeni et al., 2023; Aini et al., 2021). PBL memberikan ruang kepada peserta didik untuk mengidentifikasi masalah, menentukan informasi yang diperlukan, menyusun alternatif penyelesaian, menganalisis bukti, mengevaluasi solusi, dan mengomunikasikan hasil pemikirannya sehingga aktivitas belajar berkaitan langsung dengan proses berpikir kritis (Anggraeni et al., 2023; Liu & Pásztor, 2022). Meta-analisis yang melibatkan 50 studi, 5.210 peserta, dan 58 ukuran efek menemukan bahwa intervensi PBL memberikan pengaruh positif yang signifikan terhadap kemampuan berpikir kritis dengan standardized mean difference sebesar 0,640 dan nilai $p < 0,001$, meskipun besarnya pengaruh dapat berbeda menurut konteks dan karakteristik implementasi pembelajaran (Liu & Pásztor, 2022). Pada konteks pendidikan di Indonesia, Aini et al. (2021) menemukan nilai posttest kemampuan berpikir kritis kelas PBL sebesar 78,82 dibandingkan 74,07 pada kelas kontrol, meskipun ukuran efek yang diperoleh masih berada pada kategori

rendah sebesar 0,20 (Aini et al., 2021). Bukti tersebut menunjukkan bahwa PBL memiliki potensi untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis, tetapi efektivitasnya tetap dipengaruhi oleh konteks materi, karakteristik peserta didik, desain pembelajaran, dan dukungan media yang digunakan selama proses penyelidikan (Liu & Pásztor, 2022; Anggraeni et al., 2023). Temuan pada publikasi CAHAYA juga menunjukkan bahwa PBL berhubungan dengan peningkatan kemampuan berpikir kritis pada materi tekanan zat, sehingga relevan sebagai landasan pemilihan model dalam penelitian ini (Jannah et al., 2024).

Implementasi PBL dalam pembelajaran fisika dapat diperkuat melalui penggunaan simulasi PhET karena media ini memungkinkan peserta didik melakukan eksperimen virtual, memanipulasi variabel, mengamati perubahan fenomena, dan menguji prediksi secara interaktif (Hasyim et al., 2020; Khaeruddin & Bancong, 2022). Penelitian Hasyim et al. (2020) menunjukkan bahwa pembelajaran menggunakan simulasi PhET menghasilkan rata-rata N-gain kemampuan berpikir kritis sebesar 0,57, dengan peningkatan tertinggi pada indikator interpretasi sebesar 0,83 dan peningkatan pada indikator analisis sebesar 0,39 (Hasyim et al., 2020). Hasil yang sejalan diperoleh Khaeruddin dan Bancong (2022), yang menemukan peningkatan skor kemampuan berpikir kritis pada materi Hukum Newton dari rata-rata 66,33 menjadi 81,96 dengan N-gain sebesar 0,46 setelah pembelajaran berbantuan simulasi PhET (Khaeruddin & Bancong, 2022). Karakter interaktif PhET memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk memperoleh bukti visual tentang hubungan antarvariabel sehingga konsep yang sebelumnya hanya disajikan dalam bentuk simbol dan persamaan dapat diuji melalui pengalaman belajar berbasis simulasi (Hasyim et al., 2020; Khaeruddin & Bancong, 2022). Dengan demikian, penggunaan PhET berpotensi memperkuat proses penyelidikan pada PBL karena peserta didik tidak hanya mendiskusikan kemungkinan solusi, tetapi juga dapat menguji prediksi dan mengevaluasi hasilnya melalui eksperimen virtual (Alfiah & Dwikoranto, 2022; Khaeruddin & Bancong, 2022). Temuan lain dalam CAHAYA menunjukkan bahwa modul fisika berbantuan PhET berbasis inkuiri dapat digunakan untuk mendukung pembelajaran fisika, sedangkan penelitian terbaru di CAHAYA menunjukkan bahwa simulasi PhET membantu menghubungkan konsep fisika dengan representasi fenomena secara lebih interaktif (Wandira et al., 2023; Suherman et al., 2025).

Integrasi PBL dan simulasi PhET memiliki hubungan yang saling melengkapi karena PBL menyediakan struktur masalah dan proses penyelidikan, sedangkan PhET menyediakan lingkungan eksperimen virtual untuk menguji dugaan dan memperoleh bukti yang mendukung proses pemecahan masalah (Alfiah & Dwikoranto, 2022; Aisyah et al., 2024). Alfiah dan Dwikoranto (2022) menemukan bahwa penerapan PBL berbantuan laboratorium virtual PhET pada 30 peserta didik SMA menghasilkan peningkatan HOTS dengan N-gain sebesar 0,56 pada kategori sedang (Alfiah & Dwikoranto, 2022). Penelitian Aisyah et al. (2024) pada materi gelombang mekanik juga menunjukkan adanya perbedaan signifikan kemampuan berpikir kritis antara peserta didik yang memperoleh PBL berbantuan PhET dan peserta didik yang mengikuti pembelajaran pembandingan (Aisyah et al., 2024). Temuan yang lebih baru pada materi dinamika rotasi juga menunjukkan bahwa kelompok yang belajar melalui PBL berbantuan PhET mengalami peningkatan kemampuan berpikir kritis yang lebih baik dibandingkan kelompok pembandingan (Mustikazahra et al., 2025). Rangkaian temuan tersebut memberikan dasar empiris

bahwa kombinasi PBL dan PhET dapat mendukung kemampuan berpikir tingkat tinggi, tetapi kekuatan pengaruhnya perlu diuji pada karakteristik materi, jenjang, dan konteks pembelajaran yang berbeda (Alfiah & Dwikoranto, 2022; Aisyah et al., 2024; Mustikazahra et al., 2025). Dalam konteks bahan ajar, Aini et al. (2023) juga menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran berbasis PBL dapat dirancang untuk melatih kemampuan berpikir kritis. Hal ini memperkuat dasar bahwa integrasi model, aktivitas penyelidikan, dan media digital perlu dirancang secara fungsional, bukan sekadar menambahkan teknologi ke dalam pembelajaran.

Kemampuan berpikir kritis dalam penelitian ini dipahami sebagai proses penilaian yang rasional dan reflektif yang mencakup interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, dan regulasi diri dalam menentukan kesimpulan atau keputusan berdasarkan bukti yang tersedia (Facione, 2015). Tahapan PBL yang menuntut peserta didik memahami masalah, mengumpulkan informasi, mengembangkan solusi, dan mengevaluasi hasil memiliki kesesuaian dengan indikator berpikir kritis tersebut, sementara simulasi PhET memungkinkan proses tersebut didukung melalui observasi serta pengujian hubungan antarvariabel secara interaktif (Facione, 2015; Anggraeni et al., 2023; Khaeruddin & Bancong, 2022). Meskipun penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas PBL berbantuan PhET, sebagian penelitian dilakukan pada materi gerak parabola, gelombang mekanik, gerak dan Hukum Newton, serta dinamika rotasi, sementara beberapa studi masih menggunakan desain satu kelompok tanpa kelompok kontrol (Alfiah & Dwikoranto, 2022; Khaeruddin & Bancong, 2022; Aisyah et al., 2024; Mustikazahra et al., 2025). Bukti empiris yang secara khusus menguji pengaruh PBL berbantuan simulasi PhET terhadap kemampuan berpikir kritis pada materi fluida statis dengan perbandingan kelas eksperimen dan kelas kontrol pada peserta didik SMA masih relatif terbatas, sehingga diperlukan pengujian pada konteks tersebut (Alfiah & Dwikoranto, 2022; Aisyah et al., 2024; Mustikazahra et al., 2025). Dengan demikian, kesenjangan penelitian ini terletak pada konteks materi, karakteristik subjek, dan desain pengujian, bukan pada ketiadaan penelitian mengenai PBL atau PhET secara umum (Anggraeni et al., 2023; Liu & Pásztor, 2022).

Berdasarkan kesenjangan empiris tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh model Problem Based Learning berbantuan simulasi PhET terhadap kemampuan berpikir kritis peserta didik pada materi fluida statis di SMAN 1 Gunungsari melalui perbandingan kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Rumusan masalah penelitian adalah: apakah terdapat pengaruh yang signifikan dari penerapan PBL berbantuan simulasi PhET terhadap kemampuan berpikir kritis peserta didik pada materi fluida statis dibandingkan pembelajaran konvensional? Hipotesis penelitian adalah H_0 : tidak terdapat perbedaan kemampuan berpikir kritis yang signifikan antara peserta didik yang memperoleh PBL berbantuan simulasi PhET dan pembelajaran konvensional; dan H_a : terdapat perbedaan kemampuan berpikir kritis yang signifikan antara kedua kelompok. Kebaruan penelitian terletak pada pengujian integrasi PBL dan simulasi PhET secara terarah pada materi fluida statis dengan desain kuasi eksperimen yang membandingkan kelas eksperimen dan kontrol. Dalam penelitian ini, istilah integrasi tidak berarti PhET digunakan pada seluruh sintaks PBL, tetapi PhET ditempatkan sebagai media eksperimen virtual terutama pada tahap penyelidikan untuk menguji prediksi, memanipulasi variabel, dan memperoleh bukti yang digunakan dalam

pemecahan masalah. Secara teoretis, penelitian ini diharapkan memperkuat bukti empiris mengenai hubungan antara PBL, eksperimen virtual, dan kemampuan berpikir kritis. Secara praktis, hasil penelitian diharapkan memberikan alternatif bagi guru fisika dalam merancang pembelajaran fluida statis yang lebih aktif, visual, kontekstual, dan berorientasi pada kemampuan berpikir kritis.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis kuasi eksperimen dan desain *Non-equivalent Control Group Design*. Desain kuasi eksperimen dipilih karena penelitian dilaksanakan pada kelas yang telah terbentuk sehingga randomisasi individual terhadap peserta didik tidak dilakukan, tetapi pengaruh perlakuan tetap dapat diuji melalui perbandingan kelompok eksperimen dan kelompok kontrol sebelum serta sesudah pembelajaran (Osmanović Zajić & Maksimović, 2022). Kedua kelompok diberikan pretest untuk memperoleh gambaran kemampuan awal dan posttest untuk mengukur kemampuan berpikir kritis setelah perlakuan. Kelas eksperimen memperoleh pembelajaran menggunakan model *Problem Based Learning* berbantuan simulasi PhET, sedangkan kelas kontrol memperoleh pembelajaran konvensional.

Tabel 1. Desain Penelitian Non-equivalent Control Group

Kelompok	Pretest	Perlakuan	Posttest
Eksperimen	O_1	X	O_2
Kontrol	O_3	Y	O_4

Keterangan:

O_1 dan O_3 : Pretest

O_2 dan O_4 : Posttest

X : Pembelajaran *Problem Based Learning* berbantuan simulasi PhET

Y : Pembelajaran konvensional

Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 1 Gunungsari pada semester genap Tahun Ajaran 2025/2026. Populasi penelitian adalah seluruh peserta didik kelas XI MIPA yang dalam naskah tercatat berjumlah 180 peserta didik. Sampel ditentukan menggunakan teknik purposive sampling dengan mempertimbangkan karakteristik akademik antarkelas yang relatif setara, sehingga kelas XI-C ditetapkan sebagai kelas eksperimen dan kelas XI-F sebagai kelas kontrol. Purposive sampling memungkinkan peneliti memilih unit sampel berdasarkan kriteria yang sesuai dengan tujuan penelitian dan kondisi lapangan yang telah ditetapkan sebelumnya (Campbell et al., 2020).

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah model *Problem Based Learning* berbantuan simulasi PhET, sedangkan variabel terikatnya adalah kemampuan berpikir kritis peserta didik pada materi fluida statis. Data kemampuan berpikir kritis dikumpulkan menggunakan tes uraian yang diberikan sebelum dan sesudah perlakuan. Sebelum digunakan pada penelitian utama, instrumen telah melalui pengujian validitas, reliabilitas, tingkat kesukaran, dan daya pembeda untuk memastikan kelayakan butir soal sebagai alat pengumpulan data. Penggunaan tes yang

sama pada pretest dan posttest dimaksudkan untuk memperoleh ukuran perubahan kemampuan peserta didik setelah proses pembelajaran berlangsung.

Prosedur penelitian diawali dengan pemberian pretest kepada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Setelah pengukuran awal, kelas eksperimen mengikuti pembelajaran Problem Based Learning berbantuan simulasi PhET, sedangkan kelas kontrol mengikuti pembelajaran konvensional pada materi fluida statis. Simulasi PhET digunakan dalam kelompok eksperimen sebagai media eksplorasi virtual untuk mendukung kegiatan penyelidikan pada proses pemecahan masalah. Setelah seluruh rangkaian pembelajaran selesai, kedua kelompok diberikan posttest menggunakan instrumen yang sama untuk memperoleh data kemampuan berpikir kritis setelah perlakuan.

Analisis data dilakukan melalui statistik deskriptif, uji prasyarat, uji hipotesis, dan perhitungan normalized gain (N-gain). Statistik deskriptif digunakan untuk menyajikan nilai minimum, maksimum, dan rata-rata pretest serta posttest pada kedua kelompok. Uji normalitas dan homogenitas dilakukan sebagai uji prasyarat sebelum pengujian hipotesis; setelah data dinyatakan berdistribusi normal dan homogen, uji t digunakan pada taraf signifikansi 0,05 untuk menguji perbedaan hasil antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Peningkatan kemampuan berpikir kritis juga dianalisis menggunakan N-gain, yaitu ukuran perubahan skor pretest ke posttest yang mempertimbangkan peluang peningkatan maksimum yang masih tersedia bagi peserta didik (Coletta & Steinert, 2020). Seluruh analisis statistik dalam naskah dilakukan dengan bantuan IBM SPSS Statistics versi 25.

$$N - gain = \frac{(skor\ posttest - skor\ pretest)}{(skor\ maksimum - skor\ pretest)}$$

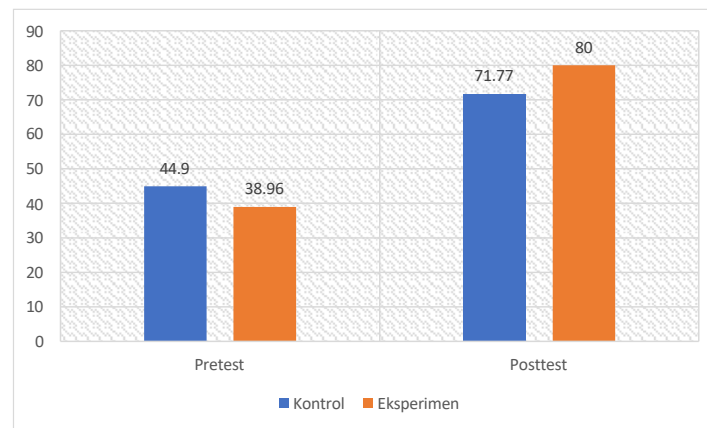
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Analisis deskriptif menunjukkan bahwa sebelum perlakuan, rata-rata kemampuan berpikir kritis kelas eksperimen sebesar 38,96, sedangkan kelas kontrol sebesar 44,90. Nilai awal kelas kontrol lebih tinggi 5,94 poin daripada kelas eksperimen, sehingga kedua kelompok tidak memulai pembelajaran dari rata-rata yang sepenuhnya sama. Setelah pembelajaran, rata-rata posttest kelas eksperimen meningkat menjadi 80,00, sedangkan kelas kontrol mencapai 71,77. Secara deskriptif, kelas eksperimen mengalami kenaikan skor mentah sebesar 41,04 poin, sedangkan kelas kontrol meningkat sebesar 26,87 poin. Selisih kenaikan skor mentah antarkelompok mencapai 14,17 poin, sementara selisih rata-rata posttest sebesar 8,23 poin berpihak pada kelas eksperimen.

Tabel 2. Statistik deskriptif kemampuan berpikir kritis peserta didik

Pengukuran	Kelompok	N	Minimum	Maksimum	Rata-rata
Pretest	Eksperimen	32	20,00	60,00	38,96
Pretest	Kontrol	32	23,33	76,67	44,90
Posttest	Eksperimen	32	60,00	96,67	80,00
Posttest	Kontrol	32	56,67	86,67	71,77



Gambar 1. Perbandingan rata-rata *pretest* dan *posttest* kemampuan berpikir kritis

Pola pada Gambar 1 memperlihatkan perubahan posisi relatif kedua kelompok. Pada *pretest*, rata-rata kelas eksperimen berada di bawah kelas kontrol, tetapi pada *posttest* rata-rata kelas eksperimen justru lebih tinggi. Perubahan ini memberikan indikasi deskriptif bahwa peningkatan kemampuan berpikir kritis pada kelas yang memperoleh Problem Based Learning berbantuan simulasi PhET lebih kuat daripada peningkatan pada kelas kontrol. Namun, interpretasi inferensial tetap harus didasarkan pada hasil uji statistik karena penelitian menggunakan desain kuasi eksperimen dan kelas tidak dibentuk melalui randomisasi individual.

Hasil uji prasyarat pada naskah menunjukkan bahwa data *posttest* memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas, sehingga pengujian hipotesis dilanjutkan menggunakan uji t. Nilai signifikansi yang diperoleh sebesar 0,001, lebih kecil daripada taraf signifikansi 0,05. Hasil tersebut menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan secara statistik pada kemampuan berpikir kritis setelah pembelajaran, sehingga hipotesis alternatif yang menyatakan adanya pengaruh model Problem Based Learning berbantuan simulasi PhET dapat diterima dalam konteks desain penelitian ini.

Tabel 3. Hasil uji hipotesis kemampuan berpikir kritis

Signifikansi	Taraf Signifikansi	Keputusan
0,001	0,05	H_a

Analisis N-gain memberikan informasi tambahan tentang besarnya peningkatan relatif dari skor awal menuju skor akhir. Kelas eksperimen memperoleh N-gain sebesar 0,6545, sedangkan kelas kontrol memperoleh N-gain sebesar 0,4495. Kedua nilai berada pada kategori sedang, tetapi N-gain kelas eksperimen lebih tinggi sebesar 0,2050. Dengan demikian, peningkatan relatif pada kelas eksperimen lebih besar daripada kelas kontrol, meskipun kategori kualitatif keduanya masih sama.

Selain signifikansi statistik, ukuran efek perlu dilaporkan untuk menunjukkan kekuatan perbedaan antarkelompok. Ukuran efek sebaiknya dihitung menggunakan indeks yang sesuai dengan analisis yang digunakan, misalnya Cohen's d, dan dilaporkan bersama nilai t serta derajat kebebasan. Karena data simpangan baku dan output uji t tidak tersedia dalam naskah

ini, nilai ukuran efek tidak diisi secara spekulatif dan harus dimasukkan dari hasil analisis statistik peneliti.

Tabel 4. Hasil N-gain kemampuan berpikir kritis

Kelompok	N-gain	Kategori
Kontrol	0,4495	Sedang
Eksperimen	0,6545	Sedang

B. Pembahasan

Temuan utama penelitian menunjukkan bahwa penerapan *Problem Based Learning* berbantuan simulasi PhET berkaitan dengan peningkatan kemampuan berpikir kritis yang lebih kuat dibandingkan pembelajaran konvensional. Kesimpulan ini didukung oleh tiga pola data yang konsisten, yaitu rata-rata *posttest* kelas eksperimen yang lebih tinggi, nilai signifikansi uji *t* sebesar 0,001, dan N-gain kelas eksperimen sebesar 0,6545 yang melampaui kelas kontrol sebesar 0,4495. Hasil tersebut sejalan dengan bukti sistematis bahwa PBL mampu menyediakan konteks masalah yang mendorong peserta didik melakukan analisis, evaluasi, dan pengambilan keputusan berbasis alasan, sehingga model ini relevan untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis (Anggraeni et al., 2023; Liu & Pásztor, 2022).

Perubahan skor dari *pretest* ke *posttest* memperlihatkan pola yang penting untuk ditafsirkan. Kelas eksperimen memulai pembelajaran dengan rata-rata 38,96, lebih rendah daripada kelas kontrol sebesar 44,90, tetapi berakhir dengan rata-rata 80,00, lebih tinggi daripada kelas kontrol sebesar 71,77. Secara deskriptif, pembalikan posisi tersebut menunjukkan bahwa kelompok eksperimen memperoleh keuntungan belajar yang lebih besar selama periode intervensi. Temuan ini konsisten dengan penelitian Aini et al. (2021) yang melaporkan skor *posttest* kemampuan berpikir kritis kelas PBL sebesar 78,82 dan kelas kontrol sebesar 74,07, walaupun ukuran efek pada penelitian tersebut masih berada pada kategori rendah. Kesamaan arah temuan memperkuat dugaan bahwa proses pemecahan masalah dalam PBL dapat membantu peserta didik membangun penalaran yang lebih terstruktur daripada pembelajaran yang lebih berpusat pada penyampaian informasi (Aini et al., 2021; Anggraeni et al., 2023).

Secara teoretis, peningkatan kemampuan berpikir kritis dapat dijelaskan melalui kesesuaian aktivitas PBL dengan komponen berpikir kritis yang dikemukakan Facione. Ketika peserta didik mengidentifikasi informasi yang relevan dalam masalah fluida statis, mereka menggunakan kemampuan interpretasi untuk memahami situasi dan menentukan makna data yang tersedia (Facione, 2015). Pada tahap penyelidikan, peserta didik perlu menganalisis hubungan antarvariabel, membandingkan kemungkinan penjelasan, dan menarik inferensi berdasarkan hasil yang diperoleh, sedangkan tahap presentasi dan evaluasi solusi menuntut kemampuan evaluasi dan eksplanasi (Facione, 2015; Anggraeni et al., 2023). Proses refleksi terhadap strategi pemecahan masalah juga berhubungan dengan regulasi diri karena peserta didik perlu memeriksa kembali ketepatan prosedur, kesesuaian bukti, dan konsistensi kesimpulannya (Facione, 2015). Mekanisme ini menjelaskan mengapa PhET tidak diposisikan sebagai media demonstrasi, tetapi sebagai alat untuk menghasilkan bukti yang kemudian

digunakan peserta didik dalam proses penalaran PBL. Dengan demikian, peningkatan kemampuan berpikir kritis lebih logis dipahami sebagai hasil dari rangkaian masalah–prediksi–eksperimen virtual–interpretasi bukti–evaluasi solusi, bukan semata-mata akibat penggunaan aplikasi.

Kontribusi simulasi PhET menjadi penting karena karakteristik materi fluida statis memuat konsep yang sulit diamati hanya melalui persamaan matematis. Melalui simulasi, peserta didik dapat memanipulasi variabel, mengamati perubahan secara langsung, dan menguji prediksi tentang hubungan tekanan, kedalaman, massa jenis, gaya, dan kondisi benda di dalam fluida. Aktivitas tersebut menyediakan umpan balik visual yang membantu peserta didik menghubungkan representasi matematis dengan fenomena fisik, sehingga proses analisis tidak berhenti pada substitusi angka ke dalam rumus (Hasyim et al., 2020; Khaeruddin & Bancong, 2022). Dalam konteks ini, PhET berfungsi sebagai sarana eksperimen virtual yang melengkapi PBL karena masalah yang diajukan dapat diuji melalui observasi dan manipulasi variabel, bukan hanya didiskusikan secara verbal (Khaeruddin & Bancong, 2022).

Besarnya N-gain kelas eksperimen juga mendukung peran simulasi interaktif dalam proses belajar. Hasyim et al. (2020) melaporkan rata-rata N-gain kemampuan berpikir kritis sebesar 0,57 setelah pembelajaran berbantuan simulasi PhET, sedangkan Khaeruddin dan Bancong (2022) memperoleh N-gain sebesar 0,45 pada materi gerak lurus dan 0,46 pada materi Hukum Newton. Alfiah dan Dwikoranto (2022) juga menemukan N-gain sebesar 0,56 pada penerapan PBL berbantuan laboratorium virtual PhET untuk meningkatkan HOTS siswa SMA. Nilai N-gain sebesar 0,6545 pada penelitian ini berada di atas nilai yang dilaporkan dalam ketiga studi tersebut, tetapi perbandingan tersebut tidak dapat digunakan untuk menyatakan bahwa intervensi penelitian ini secara langsung lebih unggul karena setiap penelitian menggunakan materi, karakteristik sampel, durasi intervensi, dan instrumen yang berbeda (Hasyim et al., 2020; Khaeruddin & Bancong, 2022; Alfiah & Dwikoranto, 2022). Temuan ini juga selaras dengan Suherman et al. (2025) yang menunjukkan efektivitas pembelajaran berbasis simulasi PhET dalam membantu pemahaman konsep fisika, serta memperkuat relevansi penggunaan simulasi sebagai media yang menjembatani model matematis dan fenomena fisik.

Konsistensi hasil juga terlihat ketika dibandingkan dengan penelitian yang secara langsung mengintegrasikan PBL dan PhET. Aisyah et al. (2024) menemukan bahwa PBL berbantuan PhET memberikan pengaruh terhadap kemampuan berpikir kritis peserta didik pada materi gelombang mekanik menggunakan desain kuasi eksperimen dengan kelompok kontrol. Mustikazahra et al. (2025) melaporkan arah temuan yang serupa pada materi dinamika rotasi, sedangkan Alfiah dan Dwikoranto (2022) menunjukkan peningkatan HOTS melalui PBL berbantuan laboratorium virtual PhET. Kesamaan hasil pada topik fisika yang berbeda menunjukkan bahwa integrasi masalah kontekstual dan eksperimen virtual memiliki potensi yang relatif konsisten untuk mendukung aktivitas kognitif tingkat tinggi, meskipun efektivitasnya tetap perlu dipahami sesuai karakteristik materi dan kondisi kelas (Aisyah et al., 2024; Alfiah & Dwikoranto, 2022; Mustikazahra et al., 2025). Temuan Mutia dan Chusni (2026) di CAHAYA yang menunjukkan kesulitan pemecahan masalah fluida yang masih

bersifat prosedural juga memberi konteks bahwa pembelajaran fluida perlu memberi ruang lebih besar bagi analisis masalah dan hubungan antarvariabel. Penelitian ini memperluas konteks tersebut dengan menguji intervensi PBL berbantuan PhET pada fluida statis melalui perbandingan kelompok eksperimen dan kontrol.

Relevansi temuan menjadi lebih kuat pada materi fluida statis karena penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kemampuan berpikir kritis peserta didik pada topik ini masih memerlukan penguatan. Rizky dan Prahani (2024) melaporkan bahwa dari 106 peserta didik yang dipetakan pada pembelajaran fluida statis, 100 peserta didik berada pada kategori kemampuan berpikir kritis rendah dan hanya enam berada pada kategori sedang. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kesulitan berpikir kritis pada fluida statis bukan hanya berkaitan dengan penguasaan rumus, tetapi juga dengan kemampuan memilih strategi, menafsirkan fenomena, dan membangun alasan berdasarkan konsep. Karena itu, penggunaan PBL yang dilengkapi media digital interaktif memiliki dasar pedagogis yang kuat untuk memberikan lebih banyak kesempatan kepada peserta didik melakukan penyelidikan dan menguji gagasan secara aktif (Rizky & Prahani, 2024; Khaeruddin & Bancong, 2022).

Hasil meta-analisis terbaru juga memberikan dukungan terhadap penggunaan PhET sebagai media untuk melatih berpikir kritis. Febrianti et al. (2024) menganalisis sembilan artikel yang memenuhi kriteria meta-analisis dan melaporkan rata-rata effect size sebesar 1,31 untuk penggunaan media virtual PhET terhadap kemampuan berpikir kritis dalam pembelajaran sains. Temuan meta-analitik tersebut menunjukkan bahwa simulasi virtual dapat memberikan kontribusi kuat ketika digunakan untuk mendorong eksplorasi, pengujian hubungan antarvariabel, dan interpretasi bukti. Dalam penelitian ini, fungsi tersebut diperkuat oleh PBL yang menyediakan masalah sebagai pemicu aktivitas penyelidikan, sehingga penggunaan teknologi tidak berdiri sebagai media demonstrasi semata, tetapi menjadi bagian dari proses pemecahan masalah (Febrianti et al., 2024; Anggraeni et al., 2023).

Meskipun kelas eksperimen menunjukkan peningkatan yang lebih tinggi, kelas kontrol juga mengalami peningkatan dengan N-gain sebesar 0,4495 pada kategori sedang. Fakta ini penting karena peningkatan kemampuan berpikir kritis tidak hanya dipengaruhi oleh keberadaan satu model pembelajaran, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh paparan materi, latihan soal, interaksi dengan guru, pengalaman belajar sebelumnya, dan kegiatan belajar selama periode penelitian. Oleh sebab itu, hasil penelitian lebih tepat ditafsirkan bahwa PBL berbantuan PhET memberikan peningkatan yang lebih besar dibandingkan pembelajaran kontrol dalam kondisi penelitian yang dilakukan, bukan bahwa pembelajaran kontrol sama sekali tidak berkontribusi pada perkembangan peserta didik. Interpretasi yang proporsional seperti ini sejalan dengan prinsip analisis kuasi eksperimen yang menekankan perbandingan hasil antarkelompok tanpa mengabaikan kemungkinan faktor lain yang tidak sepenuhnya dapat dikendalikan (Osmanović Zajić & Maksimović, 2022).

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, kelompok dipilih melalui purposive sampling dan tidak melalui randomisasi individual, sehingga perbedaan karakteristik awal antarkelas tidak dapat sepenuhnya dieliminasi. Kedua, rata-rata pretest kelas eksperimen lebih rendah daripada kelas kontrol, sehingga interpretasi pengaruh perlu mempertimbangkan

kondisi awal tersebut. Ketiga, durasi dan konteks penelitian terbatas pada satu sekolah, dua kelas, dan materi fluida statis sehingga generalisasi ke sekolah, jenjang, materi, atau karakteristik peserta didik lain perlu dilakukan secara hati-hati. Keempat, naskah belum melaporkan statistik uji t secara lengkap, seperti nilai t, derajat kebebasan, ukuran efek, dan interval kepercayaan. Kelima, peningkatan kemampuan berpikir kritis berdasarkan setiap indikator belum disajikan secara terpisah. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan sampel dan konteks yang lebih beragam, mempertimbangkan analisis yang mengontrol skor awal apabila sesuai dengan karakteristik data, serta melaporkan effect size dan interval kepercayaan agar kekuatan pengaruh dapat ditafsirkan secara lebih komprehensif.

Dari sisi praktis, temuan penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran fluida statis dapat dirancang melalui masalah yang dekat dengan fenomena sehari-hari, kemudian peserta didik diarahkan untuk menguji dugaan menggunakan simulasi PhET. Guru dapat meminta peserta didik menjelaskan hubungan antarvariabel, membandingkan hasil simulasi dengan prediksi awal, serta mempertahankan kesimpulan menggunakan bukti yang diperoleh selama eksperimen virtual. Strategi tersebut penting karena kemampuan berpikir kritis berkembang ketika peserta didik tidak hanya memperoleh jawaban, tetapi juga harus menjelaskan alasan, menilai kualitas bukti, dan merevisi pemikiran ketika hasil pengamatan tidak sesuai dengan dugaan awal (Facione, 2015; Hasyim et al., 2020). Dengan demikian, integrasi PBL dan PhET dapat menjadi alternatif pembelajaran yang relevan untuk mengurangi dominasi pembelajaran prosedural dan memperkuat pemahaman konseptual pada materi yang memerlukan visualisasi (Khaeruddin & Bancong, 2022; Aisyah et al., 2024).

Penelitian ini tetap memiliki keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam menafsirkan hasil. Pertama, kelompok dipilih melalui purposive sampling dan tidak melalui randomisasi individual, sehingga perbedaan karakteristik awal antarkelas tidak dapat sepenuhnya dieliminasi (Campbell et al., 2020; Osmanović Zajić & Maksimović, 2022). Kedua, rata-rata pretest kelas eksperimen lebih rendah daripada kelas kontrol, sehingga analisis lanjutan menggunakan ANCOVA atau pelaporan effect size dan interval kepercayaan akan memperkuat estimasi pengaruh apabila data mentah tersedia. Ketiga, naskah yang tersedia belum melaporkan statistik uji t secara lengkap, seperti nilai t, derajat kebebasan, dan ukuran efek, serta belum menyajikan peningkatan berdasarkan setiap indikator berpikir kritis. Keterbatasan tersebut tidak membatalkan pola hasil yang diperoleh, tetapi perlu diperbaiki pada versi akhir agar transparansi analisis, ketepatan inferensi, dan keterulangan penelitian memenuhi standar pelaporan jurnal ilmiah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan dari penerapan model *Problem Based Learning* berbantuan simulasi PhET terhadap kemampuan berpikir kritis peserta didik pada materi fluida statis. Hal ini ditunjukkan oleh rata-rata nilai posttest kelas eksperimen sebesar 80,00, lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 71,77. Hasil uji hipotesis menunjukkan nilai signifikansi sebesar $0,001 < 0,05$, sehingga

Ha diterima dan menunjukkan bahwa penerapan PBL berbantuan simulasi PhET memberikan pengaruh signifikan terhadap kemampuan berpikir kritis peserta didik.

Kontribusi utama penelitian terletak pada penerapan PBL dengan PhET sebagai media eksperimen virtual pada tahap penyelidikan, sehingga peserta didik tidak hanya memecahkan masalah secara konseptual tetapi juga menguji prediksi dan mengevaluasi bukti melalui manipulasi variabel. Secara praktis, pendekatan ini dapat menjadi alternatif pembelajaran fisika yang lebih aktif dan visual untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis. Penerapan pada sekolah, materi, dan keterampilan abad ke-21 lainnya perlu diuji lebih lanjut dengan sampel dan pelaporan statistik yang lebih lengkap.

Penerapan PBL berbantuan simulasi PhET juga lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis dibandingkan pembelajaran konvensional. Hal tersebut terlihat dari nilai N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,6545, sedangkan kelas kontrol sebesar 0,4495, yang keduanya berada pada kategori sedang. Dengan demikian, integrasi PBL dan simulasi PhET dapat menjadi alternatif pembelajaran fisika yang membantu peserta didik lebih aktif dalam memahami konsep, menganalisis permasalahan, dan mengembangkan kemampuan berpikir kritis pada materi fluida statis.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, D., Latifah, S., & Hamid, A. (2021). Problem based learning (PBL) model: Its effect in improving students' critical thinking skill. *Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*, 4(2), 183-190. <https://doi.org/10.24042/ij sme.v4i2.8660>
- Aisyah, S. N., Kosim, K., Gunawan, G., & Gunada, I. W. (2024). The effect of problem-based learning model assisted by PhET media on students' critical thinking skills. *Indonesian Journal of STEM Education*, 6(2), 86-101. <https://journal.publication-center.com/index.php/ijse/article/view/1649>
- Alfiah, S., & Dwikoranto, D. (2022). Penerapan model problem based learning berbantuan laboratorium virtual PhET untuk meningkatkan HOTS siswa SMA. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 13(1), 9-18. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v13i1.11494>
- Anggraeni, D. M., Prahani, B. K., Suprpto, N., Shofiyah, N., & Jatmiko, B. (2023). Systematic review of problem based learning research in fostering critical thinking skills. *Thinking Skills and Creativity*, 49, 101334. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101334>
- Campbell, S., Greenwood, M., Prior, S., Shearer, T., Walkem, K., Young, S., Bywaters, D., & Walker, K. (2020). Purposive sampling: Complex or simple? Research case examples. *Journal of Research in Nursing*, 25(8), 652-661. <https://doi.org/10.1177/1744987120927206>
- Coletta, V. P., & Steinert, J. J. (2020). Why normalized gain should continue to be used in analyzing preinstruction and postinstruction scores on concept inventories. *Physical Review Physics Education Research*, 16(1), 010108. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010108>
- Facione, P. A. (2015). *Critical thinking: What it is and why it counts*. Insight Assessment. <https://insightassessment.com/iaresource/critical-thinking-what-it-is-and-why-it-counts/>

- Febrianti, T. J. C., Yuliani, H., & Azizah, N. (2024). Meta analysis: The influence of the use of PhET virtual media in science learning on students' critical thinking. *Jurnal IPA Terpadu*, 8(2), 197-211. <https://doi.org/10.35580/ipaterpadu.v8i2.63172>
- Hasyim, F., Prastowo, T., & Jatmiko, B. (2020). The use of Android-based PhET simulation as an effort to improve students' critical thinking skills during the Covid-19 pandemic. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 14(19), 31-41. <https://doi.org/10.3991/ijim.v14i19.15701>
- Khaeruddin, K., & 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>
- Liu, Y., & Pásztor, A. (2022). Effects of problem-based learning instructional intervention on critical thinking in higher education: A meta-analysis. *Thinking Skills and Creativity*, 45, 101069. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101069>
- Mustikazahra, F., Novia, H., & Aviyanti, L. (2025). Application of PhET simulation-assisted problem-based learning model in improving students' critical thinking skills on rotational dynamics material. *Journal of Educational Sciences*, 9(4), 1742-1752. <https://doi.org/10.31258/jes.9.4.p.1742-1752>
- OECD. (2023). *PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
- Osmanović Zajić, J., & Maksimović, J. (2022). Quasi-experimental research as an epistemological-methodological approach in education research. *International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education*, 10(3), 177-183. <https://doi.org/10.23947/2334-8496-2022-10-3-177-183>
- Permana, H., Bakri, F., Salsabila, I. H., Ambarwulan, D., Mulyati, D., & Sumardani, D. (2021). The development of augmented reality application to explore fluid concepts. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 7(1), 53-60. <https://doi.org/10.21009/1.07106>
- Rizky, A., & Prahani, B. K. (2024). Profiling students' critical thinking skills and the implementation of Problem-Based Learning using innovative digital modules on static fluid concepts. *Advances in Mobile Learning Educational Research*, 5(1), 1254-1261. <https://doi.org/10.25082/AMLER.2025.01.002>
- Aini, M., Ali, L. U., & Suhirman. (2023). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis Problem Based Learning (PBL) pada materi elastisitas untuk melatih kemampuan berpikir kritis. *CAHAYA: Journal of Research on Science Education*, 1(2), 73-91. <https://doi.org/10.70115/cahaya.v1i2.73>
- Jannah, K., Ali, L. U., & Irwan. (2024). Pengaruh model pembelajaran Problem Based Learning terhadap kemampuan berpikir kritis pada materi tekanan zat kelas VIII MTs Putri Al-Ishlahuddiny. *CAHAYA: Journal of Research on Science Education*, 2(1), 1-12. <https://doi.org/10.70115/cahaya.v2i1.71>
- Mutia, A., & Chusni, M. M. (2026). Analysis of students' problem-solving skills and learning difficulties in dynamic fluid topics through a preliminary study in physics education.

- CAHAYA: Journal of Research on Science Education, 4(2), 180–185. <https://doi.org/10.70115/cahaya.v4i2.456>
- Suherman, W., Kariadinata, R., & Chusni, M. M. (2025). Effectiveness of PhET interactive simulation-based learning on grade XI students' conceptual understanding of projectile motion. CAHAYA: Journal of Research on Science Education, 3(2), 57–68. <https://doi.org/10.70115/cahaya.v3i2.331>
- Wandira, A., Bahtiar, Ali, L. U., & Septiana, Y. (2023). Pengembangan modul pembelajaran fisika berbantuan PhET berbasis inkuiri pada materi usaha dan energi kelas X SMA Negeri 1 Gerung Lombok Barat. CAHAYA: Journal of Research on Science Education, 1(1), 25–41. <https://doi.org/10.70115/cahaya.v1i1.34>
- Susilawati, E., Agustinasari, A., Samsudin, A., & Siahaan, P. (2020). Analisis tingkat keterampilan berpikir kritis siswa SMA. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 6(1), 11–16. <https://doi.org/10.29303/jpft.v6i1.1453>