



## Pengaruh Model *Problem Based Learning* Berbantuan PhET terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Siswa pada Materi Getaran dan Gelombang

Anita Nur Izzati<sup>1\*</sup>, Ni Made Pujani<sup>2</sup>, Luh Mitha Priyanka<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Pendidikan Ganesha, Indonesia

<sup>2-3</sup>Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Pendidikan Ganesha, Indonesia

Email: [anita.nur@student.undiksha.ac.id](mailto:anita.nur@student.undiksha.ac.id)

\*Penulis Korespondensi: [anita.nur@student.undiksha.ac.id](mailto:anita.nur@student.undiksha.ac.id)

**Abstract.** *This study aims to examine the effects of applying a Problem-Based Learning (PBL) method combined with PhET simulation tools on enhancing critical thinking skills among eighth-grade students at SMP Negeri 4 Singaraja when learning vibration and wave topics. It adopted a quasi-experimental approach with a Pretest-Posttest setup and non-equivalent control group design. The participant cohort comprised 75 students distributed across two groups: the treatment group (n=38) who engaged in learning activities using PBL supplemented by PhET simulation, and the comparison group (n=37) who received PBL instruction without PhET simulation support. Data collection was conducted through essay-type assessment instruments containing 7 questions designed to evaluate critical thinking competencies based on Ennis' theoretical framework. Data processing employed descriptive statistical analysis, N-Gain Score computation and ANCOVA testing were conducted at a 0.05 significance level. Results showed the treatment group's average Posttest score at 84, compared to 66 for the control group. The ANCOVA produced an F-value of 103.701 ( $p < 0.001$ ), confirming a statistically significant difference in critical thinking skills between the groups. The adjusted mean Posttest scores were 83.99 for the treatment group and 66.01 for the comparison group, reflecting a differential of 17.99 points. Consequently, the findings substantiate that the integration of PBL with PhET simulation demonstrates greater effectiveness in fostering students' critical thinking skills in comparison to conventional PBL implementation without technology-enhanced simulation assistance.*

**Keywords:** *Critical Thinking; Phet Simulation; Problem Based Learning; Quasi Experiment; Vibration And Wave*

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dampak penerapan pendekatan *Problem Based Learning* (PBL) berbantuan PhET terhadap kemampuan berpikir kritis peserta didik pada materi getaran dan gelombang di kelas VIII SMP Negeri 4 Singaraja. Pendekatan yang digunakan adalah desain kuasi-eksperimen dengan pola *Pretest-Posttest Non-Equivalent Control Group Design*. Partisipan penelitian berjumlah 75 peserta didik, yang dikelompokkan menjadi kelas eksperimen (n=38) yang memperoleh pembelajaran PBL dengan bantuan simulasi PhET, serta kelas kontrol (n=37) yang memperoleh pembelajaran PBL tanpa bantuan simulasi PhET. Instrumen pengukuran berupa tes uraian dengan 7 soal, yang memiliki kesesuaian dengan indikator Ennis. Analisis data dilakukan melalui statistik deskriptif, perhitungan skor N-Gain, serta ANCOVA pada tingkat signifikansi 0,05. Temuan penelitian mengindikasikan skor rata-rata *Posttest* pada kelas eksperimen sebesar 84, sementara kelas kontrol memperoleh skor 66. Uji ANCOVA menunjukkan nilai  $F=103,701$  ( $p=0,001$ ), yang membuktikan terdapat perbedaan bermakna dalam keterampilan berpikir kritis antarkelompok. Rerata data *Posttest* yang disesuaikan (adjusted mean) adalah 83,99 untuk kelas eksperimen dan 66,01 untuk kelas kontrol, dengan selisih 17,99. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa pendekatan PBL berbantuan simulasi PhET lebih efektif dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik dibandingkan PBL tanpa simulasi PhET.

**Kata kunci:** Berpikir Kritis; Getaran Dan Gelombang; Phet Simulation; *Problem Based Learning*; Quasi Eksperimen

## 1. LATAR BELAKANG

Pendidikan pada era abad ke-21 mengharuskan siswa menguasai keterampilan berpikir tingkat sangat tinggi, di antaranya kemampuan berpikir kritis. Kemampuan tersebut meliputi proses menganalisis informasi secara mendalam, menilai argumen dengan cermat dan terstruktur, serta menyusun ulang pengetahuan sebagai bentuk menyelesaikan masalah-masalah rumit dalam kehidupan sehari-hari. (A. N. L. Putri, 2024). Pelajaran sains merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan yang sangat strategis untuk mengembangkan kemampuan intelektual, terutama di tingkat Sekolah Menengah Pertama (SMP) (Nurita et al., 2023).

Namun temuan survei *Program for International Student Assessment* (PISA) pada tahun 2022 mengindikasikan bahwa kekuatan literasi membaca sains siswa Indonesia masih di bawah rata-rata negara-negara OECD. Hanya 34% peserta didik yang dapat mencapai tingkat berpikir kritis level 2, dan tidak ada yang menyentuh level 6 (OECD, 2023; Ayu et al., 2025). Kondisi ini menunjukkan bahwa pembelajaran IPA di Indonesia masih belum optimal dalam membentuk kemampuan berpikir tingkat tinggi pada peserta didik. (Wulandari & Warmi, 2022).

Temuan serupa juga teridentifikasi di SMP Negeri 4 Singaraja. Berdasarkan observasi pendahuluan dan wawancara dengan guru IPA kelas VIII pada Januari 2026, penerapan model *Problem Based Learning* di sekolah tersebut belum optimal dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. Bukti pendukung muncul dari studi awal terhadap 38 siswa kelas VIII, di mana sebagian besar belum mencapai Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM) 78, dengan skor keterampilan berpikir kritis rata-rata hanya 40 dari skala 100. Khususnya, siswa kesulitan menyusun argumen secara lengkap, menganalisis masih informasi secara mendalam, serta membuat keputusan berdasarkan penalaran logistik dan menyeluruh (Batubara et al., 2025).

Beberapa faktor menyebabkan rendahnya kemampuan berpikir kritis siswa, seperti keterbatasan media pembelajaran di kelas yang masih mengandalkan *Power Point* serta video *YouTube* bersifat satu arah, ditambah sifat materi abstrak getaran dan gelombang yang menyulitkan siswa memahaminya secara konkret (Getaran & Bunyi, 2024). Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan penggabungan model pembelajaran efektif dengan media interaktif yang dapat mewujudkan konsep abstrak agar lebih konkret dan mudah dicerna siswa.

Pendekatan *Problem Based Learning* dianggap relevan untuk pembelajaran karena mendorong peserta berpartisipasi aktif menyelesaikan masalah terkait kehidupan sehari-hari (Dahlan, 2022). Akan tetapi, implementasi PBL yang tidak disertai dengan media pembelajaran yang sesuai cenderung kurang maksimal, khususnya pada materi yang memiliki karakteristik abstrak seperti getaran dan gelombang. Oleh sebab itu, pengintegrasian media simulasi interaktif PhET (*Physics Education Technology*) ke dalam model PBL dipandang sebagai alternatif yang menjanjikan untuk mengatasi permasalahan tersebut. (Rararati et al., 2024). Dengan simulasi PhET, siswa mampu melakukan eksperimen virtual, memodifikasi beragam variabel, dan menyaksikan fenomena fisika secara interaktif tanpa memerlukan alat laboratorium nyata. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis tingkat keberhasilan integrasi model PBL dan media simulasi PhET dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa, terutama pada topik getaran dan gelombang (Nisa et al., n.d.).

## **2. KAJIAN TEORITIS**

Kemampuan berpikir kritis termasuk dalam ranah kognisi tingkat lanjut, yang mengharuskan individu menganalisis, menyusun ulang, serta mengeluarkan informasi dengan pendekatan sistematis dan rasional. Ennis (1985) menguraikan berpikir kritis ke dalam enam dimensi utama, yakni kemampuan dalam mengidentifikasi permasalahan, menyampaikan argumen yang tepat, menarik kesimpulan secara deduktif maupun induktif, menilai suatu pernyataan atau situasi, serta mengambil keputusan dan menerapkannya dalam tindakan nyata. (Rahmawati et al., 2022) Pengembangan kemampuan berpikir kritis merupakan kebutuhan pokok dalam pengajaran IPA pada era abad ke-21 (Supriyati et al., 2018).

Model *Problem Based Learning* (PBL) merupakan pendekatan pembelajaran yang memulai proses belajar dari masalah kontekstual, melalui tahapan orientasi masalah, pengorganisasian siswa, bimbingan investigasi, pengembangan serta presentasi hasil karya, dan evaluasi proses analisis pemecahan masalah (Badriyah et al., 2025). Penerapan tahapan model PBL secara tidak langsung melatih siswa berpikir analitis, memancarkan informasi secara kritis, serta membuat keputusan tepat, sehingga kemampuan berpikir kritis mereka berkembang secara optimal (N. A. Putri, 2025).

PhET Simulasi merupakan media pembelajaran berbasis komputer dari Universitas Colorado Boulder yang memungkinkan siswa melakukan eksperimen virtual serta memodifikasi variabel percobaan secara interaktif (Verdian et al., 2020). Integrasi model PBL berbantuan simulasi PhET menghadirkan pengalaman belajar yang bermakna karena peserta didik dapat sekaligus memecahkan masalah secara aktif dan memvisualisasikan konsep abstrak secara interaktif, sehingga seluruh indikator berpikir kritis menurut Ennis dapat dikembangkan secara menyeluruh (Pramesti et al., 2024; Legi, 2025).

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan desain kuasi-eksperimen berdasarkan rancangan *Pretest-Posttest Non-Equivalent Control Group Design* (Hawa et al., 2021). Penelitian ini dilakukan di SMP Negeri 4 Singaraja selama tiga bulan, tepatnya pada semester genap tahun ajaran 2025/2026 (Februari–April 2026). Sampel terdiri dari 75 siswa yang dipilih dengan teknik *cluster random sampling*, yakni 38 siswa kelas eksperimen yang menerima pembelajaran PBL berbantuan simulasi PhET serta 37 siswa kelas kontrol yang mengikuti pembelajaran PBL tanpa simulasi PhET.

Keterampilan berpikir kritis diukur melalui tes deskriptif dengan 7 soal, yang dirancang berdasarkan enam dimensi menurut Ennis, yaitu menyusun masalah, menyusun argumen, deduksi, induksi, evaluasi, serta pengambilan dan pelaksanaan solusi (Muna & Linuwih, 2019) Kelayakan instrumen penelitian telah dilakukan melalui validitas isi oleh dua dosen ahli, serta uji reliabilitas *Alpha Cronbach* yang menghasilkan skor 0,571 (kategori sedang) (Akbar & Zahfa, 2025).

Analisis data dilaksanakan dalam tiga tahap. Pada tahap awal, deskriptif statistik diterapkan guna menggambarkan ciri-ciri data penelitian. Fase kedua memanfaatkan *N-Gain Score* untuk menilai tingkat peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa pada kelompok kedua. Fase ketiga menerapkan ANCOVA satu jalur dengan  $\alpha=0,05$  untuk menguji hipotesis, di mana skor *Pretest* dijadikan kovariat guna menyesuaikan efek kemampuan dasar siswa. Sebelum pengujian hipotesis, dilakukan uji asumsi pendukung seperti *Shapiro-Wilk* untuk normalitas, *Uji Levene* untuk homogenitas, uji linearitas, dan uji homogenitas kemiringan regresi (Hasan, 2022).

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Hasil

##### *Deskripsi Hasil Pretest dan Posttest*

Hasil analisis deskriptif mengungkap adanya perbedaan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol (Nur, 2026). Hasil *Pretest* menunjukkan bahwa kelas eksperimen memiliki rata-rata skor awal 40 (SD = 12,04) dengan rentang 31-78, sedangkan kelas kontrol mencapai rata-rata 36 (SD = 9,98) dengan rentang 22-69. Kedua kelas memiliki kondisi awal yang mirip, yakni keterampilan berpikir kritis siswa masih tergolong rendah. Kondisi ini terlihat dari ketidakcapaian KKM 78 oleh semua siswa kelas kontrol dan 92% siswa kelas eksperimen.

Hasil *Posttest* menunjukkan adanya peningkatan keterampilan berpikir kritis pada kedua kelas setelah diberikan perlakuan pembelajaran (Saputri *et al.*, 2025). Pada kelas eksperimen, nilai *Posttest* menunjukkan rata-rata sebesar 84 dengan standar deviasi 5,35 dan rentang skor antara 67 hingga 92, dengan tingkat ketuntasan mencapai 95% peserta didik. Sementara itu, kelas kontrol mencatat rata-rata *Posttest* 66, standar deviasi 9,27, serta rentang skor dari 43 sampai 82. Hanya 19% siswa yang berhasil mencapai KKM. Data lengkap disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Deskripsi Statistik Nilai *Pretest* dan *Posttest* Keterampilan Berpikir Kritis

Kelompok	N	Mean <i>Pretest</i>	SD	Mean <i>Posttest</i>	SD	Min- Max Pre	Min- Max Post	% Tuntas
Eksperimen	38	40	12,0 4	84	5,35	31-78	67-92	95%
Kontrol	37	36	9,98	66	9,27	22-69	43-82	19%

##### *N-Gain Score dan Kategori Peningkatan*

Hasil perhitungan *N-Gain Score* menunjukkan perbedaan yang cukup besar antara kedua kelas (Dahlan, 2022). Kelas eksperimen memperlihatkan peningkatan keterampilan berpikir kritis yang lebih signifikan dengan indeks *N-Gain* 0,74 berkategori tinggi, sedangkan kelas kontrol hanya mencapai 0,46 berkategori sedang. Perbedaan indeks sebesar 0,28 membuktikan adanya kontribusi signifikan dari dukungan media simulasi PhET dalam model PBL terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa. Data lengkap disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Rekapitulasi *N-Gain Score* dan Kategori Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis

Kelompok	N	<i>N-Gain Mean</i>	SD	Kategori
Eksperimen	38	0,74	0,08	Tinggi
Kontrol	37	0,46	0,17	Sedang
Selisih	-	0,28	-	-

**Hasil Uji Prasyarat**

Sebelum melakukan pengujian hipotesis utama dengan ANCOVA, dilakukan serangkaian uji prasyarat. Uji normalitas data menggunakan *Shapiro-Wilk* menghasilkan nilai signifikansi 0,001 untuk kelas eksperimen dan 0,292 untuk kelas kontrol. Dengan demikian, data *Posttest* kelas eksperimen tidak normal ( $\text{sig} < 0,05$ ), sedangkan data kelas kontrol normal ( $\text{sig} > 0,05$ ). Kendati demikian, proses analisis masih dapat diteruskan mengingat jumlah sampel pada setiap kelompok melebihi 30 responden, sehingga berdasarkan Central Limit Theorem data dianggap memenuhi syarat untuk analisis parametrik. (Sari et al., 2024). Uji homogenitas varians *Levene's Test* menunjukkan nilai signifikansi 0,004 untuk *Posttest* dan 0,042 untuk *Pretest*, keduanya di bawah 0,05, sehingga data tidak homogen. Namun, pelanggaran ini tidak mengganggu analisis karena ANCOVA cukup tangguh terhadapnya. Uji linearitas menghasilkan nilai signifikansi deviation from linearity 0,188 (lebih besar dari 0,05), menandakan hubungan linear antara skor *Pretest* dan *Posttest*. Sementara itu, uji homogenitas kemiringan regresi menghasilkan nilai 0,489 (di atas 0,05), mengonfirmasi keseragaman kemiringan antar kelompok. Dengan terpenuhinya seluruh asumsi tersebut, analisis ANCOVA dapat dilanjutkan dengan valid (Guru et al., 2021).

**Hasil Pengujian Hipotesis**

Hasil analisis kovarian (ANCOVA) pada Tabel 3 menunjukkan nilai  $F = 103,701$  dengan  $p < 0,001$  (signifikan). Dikarenakan nilai signifikansi kurang dari 0,05, maka hipotesis nol ( $H_0$ ) ditolak dan hipotesis alternatif ( $H_a$ ) diterima (Analisis et al., 2022). Hasil analisis menunjukkan nilai Partial *Eta Squared* 0,590, yang berarti 59% dari variabilitas skor *Posttest* dipengaruhi oleh variasi model pembelajaran yang digunakan. Besaran pengaruh ini termasuk dalam kategori efek besar sesuai dengan standar kriteria yang berlaku.

**Tabel 3.** Hasil Uji ANCOVA Keterampilan Berpikir Kritis

Sumber	F	Sig	Partial Eta Squared
<i>Pretest</i>	0,782	0,379	0,011
Kelas	103,701	<0,001	0,590

Tabel 4 menyajikan hasil uji lanjut *Least Significant Difference* (LSD), yang mengindikasikan adjusted mean skor *Posttest* pada kelas eksperimen mencapai 83,99, sedangkan kelas kontrol 66,01. Selisih rata-rata keduanya adalah 17,99 ( $p < 0,001$ ). Interval kepercayaan 95% berada pada rentang 14,47 hingga 21,51 yang tidak mencakup angka nol, sehingga memperkuat kesimpulan bahwa perbedaan keterampilan berpikir kritis antara kedua kelas benar-benar bermakna secara statistik maupun praktis (Penelitian et al., 2025).

**Tabel 4.** Hasil Uji LSD Perbandingan Keterampilan Berpikir Kritis

Kelas	Adjusted Mean	Mean Difference	Sig.	95% CI
Eksperimen	83,99	17,99	<0,001	14,47 – 21,51
Kontrol	66,01	-17,99	<0,001	-21,51 – -14,47

### Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan model PBL dengan tambahan simulasi PhET menghasilkan peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa yang lebih signifikan daripada model PBL tanpa simulasi PhET tersebut (Mardian, 2023). Hasil analisis menunjukkan F-hitung 103,701 ( $p < 0,001$ ) dengan rerata *Posttest* eksperimen (83,99) secara substansial melampaui kontrol (66,01), selisih 17,99. Besarnya pengaruh (*Partial Eta Squared* = 0,590) hasil penelitian membuktikan bahwa PhET berkontribusi sebesar 59% dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa, dengan ukuran efek yang besar.

Perbedaan yang signifikan tersebut dapat dipahami melalui beberapa mekanisme. Terutama, pemanfaatan simulasi PhET memberdayakan peserta didik untuk menginvestigasi konsep getaran dan gelombang secara visual dan interaktif. Mengingat karakteristik abstrak dari materi getaran dan gelombang, pendekatan pembelajaran yang hanya berbasis penjelasan verbal atau representasi visual statis kurang efektif dalam meningkatkan pemahaman (Ilmiah & Pendidikan, 2023). PhET memberikan kesempatan kepada siswa untuk memanipulasi parameter gelombang seperti frekuensi, amplitudo, dan panjang gelombang, mengamati perubahan yang terjadi secara langsung, dan memperdalam pemahaman mereka tentang konsep fisika. Pendekatan tersebut selaras

dengan teori konstruktivisme, yang menyatakan bahwa pembelajaran paling efektif dicapai lewat pengalaman langsung serta keterlibatan aktif dengan lingkungan belajar (Purwana & Saputra, 2025).

Model pembelajaran berbasis masalah secara bertahap mengembangkan seluruh dimensi pemikiran kritis peserta didik mengikuti Ennis (1985). Tahap orientasi melatih kemampuan merumuskan masalah dan menggali keingintahuan. Tahap investigasi menggunakan simulasi PhET untuk memperoleh data, menguji asumsi, dan menginterpretasi hasil, sehingga memperkuat keterampilan argumentasi dan penalaran logis. Tahap penyajian hasil mendorong peserta didik menyusun narasi argumen yang kuat dan membela temuannya, mengembangkan kompetensi dalam analisis kritis, pembuatan keputusan, dan eksekusi strategi pemecahan masalah (Hawa et al., 2021)

Selanjutnya, keterhubungan yang diberikan oleh simulasi PhET memfasilitasi peserta didik untuk melakukan introspeksi dan penyempurnaan secara cepat manakala asumsi awal tidak cocok dengan temuan dari percobaan digital. Aktivitas introspeksi semacam ini menjadi komponen krusial dalam peningkatan keterampilan analisis mendalam sebab memberikan latihan kepada peserta didik agar dapat mengkritisi cara berpikir mereka dan mengembangkan strategi penyelesaian yang lebih akurat. Berikutnya, kolaborasi antar peserta didik dalam setting kelompok pada pendekatan PBL memberi kesempatan kepada mereka untuk melakukan pertukaran perspektif, menilai logika argumentasi sesama anggota, dan mengonstruksi pengetahuan kolektif yang sejalan dengan perspektif konstruktivisme sosial yang dikemukakan oleh Vygotsky. (Pramesti et al., 2024)

Sekalipun metode PBL diterapkan pada kedua kelompok, kelompok eksperimen mendemonstrasikan peningkatan keterampilan berpikir kritis yang lebih optimal. Hasil ini merefleksikan signifikansi pemilihan media pembelajaran yang tepat sebagai faktor pendukung utama dalam efektivitas implementasi model pembelajaran. (Alfiah & Dwikoranto, 2022). Dalam kondisi tanpa dukungan media interaktif, peserta didik cenderung mengandalkan sepenuhnya pada aktivitas diskusi kelompok dan bahan bacaan untuk memahami gagasan-gagasan abstrak. Hal ini mengakibatkan proses penyelidikan yang kurang mendalam dan tidak memaksimalkan pengembangan keterampilan berpikir kritis mereka.

Temuan penelitian ini selaras dengan bukti empiris terdahulu, yang menunjukkan bahwa penggabungan simulasi PhET ke dalam model pembelajaran berbasis masalah (PBL) secara signifikan meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa hingga level penguasaan 95%. Penelitian lanjutan juga menyoroti peningkatan partisipasi aktif serta kepercayaan diri siswa saat menggunakan pendekatan PBL berbasis PhET. Selain itu, penerapan PBL dengan laboratorium virtual PhET berpengaruh positif dan nyata terhadap pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi (HOTS) peserta didik. Karenanya, penggabungan simulasi PhET dengan model PBL terbukti menjadi strategi pengajaran yang ampuh untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa, khususnya pada materi abstrak seperti gelombang dan getaran, sehingga tujuan pembelajaran abad 21 dapat tercapai secara maksimal (Dahlan, 2022).

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian membuktikan perbedaan signifikan pada pencapaian keterampilan berpikir kritis siswa kelas VIII SMP Negeri 4 Singaraja antara kelompok PBL dengan dukungan simulasi PhET dan kelompok PBL tanpa dukungan tersebut pada materi getaran dan gelombang. Analisis ANCOVA menghasilkan nilai F sebesar 103,701 dengan taraf signifikansi  $p < 0,001$ , mengindikasikan bahwa perlakuan pembelajaran memberikan efek yang sangat kuat terhadap pengembangan keterampilan berpikir kritis. Nilai *Partial Eta Squared* sebesar 0,590 mengungkapkan bahwa strategi pembelajaran ini menyumbang 59% dari peningkatan yang terjadi, termasuk dalam klasifikasi efek besar. Uji lanjut LSD mengungkapkan skor *Posttest* yang telah disesuaikan untuk kelompok eksperimen mencapai 83,99, melampaui kelompok kontrol yang mencapai 66,01 dengan perbedaan 17,99 poin dan  $p < 0,001$ . Maka, pendekatan *Problem Based Learning* yang terintegrasi dengan simulasi PhET terbukti unggul dalam memupuk kemampuan berpikir kritis siswa.

Saran untuk penelitian ini untuk masa depan. Pertama, investigasi serupa harus dilaksanakan dalam berbagai disiplin ilmu dan tingkatan pendidikan untuk menentukan aplikabilitas yang lebih luas dari temuan. Kedua, para pendidik sains harus didorong untuk mengeksplorasi integrasi alat simulasi interaktif dalam kerangka pembelajaran berbasis masalah mereka, dengan dukungan pengembangan profesional dan akses ke sumber daya teknologi. Ketiga, penelitian masa depan harus menginvestigasi mekanisme

spesifik misalnya, sifat-sifat desain simulasi atau fitur-fitur pedagogi pembelajaran berbasis masalah yang paling efektif dalam mendorong perkembangan berpikir analitis. Keempat, pengembangan panduan dan kerangka kerja untuk guru mengenai integrasi simulasi dalam konteks pembelajaran berbasis masalah akan memfasilitasi adopsi dan implementasi di lingkungan sekolah. Terakhir, penelitian longitudinal yang melacak efek pembelajaran melampaui satu tahun akademik akan memberikan wawasan tentang daya tahan dan manfaat jangka panjang dari pendekatan pedagogi ini.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis menyampaikan rasa syukur kepada seluruh pihak yang telah memberi dukungan selama pelaksanaan penelitian ini. Khususnya, terima kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingan, arahan, serta kontribusi dalam penyusunan penelitian dan penulisan artikel. Penulis juga berterima kasih kepada pihak SMP Negeri 4 Singaraja yang telah mengizinkan dan memfasilitasi penelitian, serta kepada semua siswa peserta yang bersedia terlibat. Tak lupa, penghargaan diberikan kepada Allah SWT, orang tua, adik, dan keluarga besar “Family Sahrun Bapak dan Ibu” atas doa serta dukungan moral sepanjang proses penyelesaian. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi kemajuan pembelajaran sains ke depan.

### **DAFTAR REFERENSI**

- Akbar, A., & Zahfa, F. (2025). *Validity and reliability*. 8781–8787.
- 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>
- Analisis, M., Model, P., Discovery, P., Kemampuan, T., Kritis, B., & Sekolah, S. (2022). *Jurnal Pendidikan dan Konseling*, 4, 49–57.
- Andriani, F. D., & Walukow, A. F. (2025). Penerapan model problem based learning berbantuan simulasi PhET terhadap hasil belajar peserta didik. 5(1).
- Ayu, G. N., Putri, C. A., Riyanto, A. R., & Koto, I. (2025). The scientific literacy competence of students in Indonesia and Mexico based on PISA 2022: An

- international comparative study. *TOFEDU: The Future of Education Journal*, 4(5), 1033–1038.
- Badriyah, S., Hartika, Z., Islam, U., Imam, N., & Padang, B. (2025). Analisis keterampilan berpikir kritis siswa setelah menerapkan model pembelajaran PBL (problem based learning). 3.
- Batubara, A. J. A., Matanari, N. D., & Simanjuntak, M. P. (2025). Analisis kebutuhan dan pengembangan LKPD berbasis problem based learning (PBL) dalam pembelajaran IPA di SMP Negeri 2 Percut Sei Tuan. 6(November).
- Dahlan, U. A. (2022). Pengembangan LKPD berbasis PBL berbantuan PhET simulation untuk meningkatkan hasil belajar IPA pada materi getaran dan gelombang di MTs Negeri 1 Bantul. 7(November), 135–142.
- Dewi, E. R., Qomaria, N., Yuniasti, A., Wulandari, R., & Rakhmawan, A. (n.d.). Peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa pada materi getaran, gelombang, dan bunyi melalui model pembelajaran self-organized learning environments (SOLE) berbantuan PhET. 5, 28–39.
- Getaran, M., & Bunyi, G. (2024). Pengembangan media pembelajaran interaktif berbasis video pembelajaran pada. *Prosiding Seminar Nasional Sains*, 5(1), 197–200.
- Guru, P., Dasar, S., Kristen, U., & Wacana, S. (2021). *Jurnal Basicedu*, 5(2), 877–887.
- Hasan, M. (2022). *Volume 8 Nomor 2. 1*, 477–486.  
<https://doi.org/10.32884/ideas.v8i2.698>
- Hawa, A. A., Supriadi, B., & Prastowo, S. H. B. (2021). Efektivitas pengembangan perangkat pembelajaran model PBL berbantuan simulasi PhET pada materi termodinamika untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 7(2), 327.  
<https://doi.org/10.31764/orbita.v7i2.6041>
- Ilmiah, J., & Pendidikan, W. (2023). Pengaruh media simulasi interaktif PHET terhadap pemahaman konsep fisika siswa. 9(3), 109–116.
- Legi, G. S., Rengkuan, M., & Warouw, Z. (2025). Pengaruh model pembelajaran PBL terhadap kemampuan berpikir tingkat tinggi siswa pada materi pembelajaran biologi di SMA Negeri 1 Tondano. *Algoritma: Jurnal Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, Kebumihan dan Angkasa*, 3(2), 98–112.  
<https://doi.org/10.62383/algoritma.v3i2.452>

- Mardian, V. (2023). Studi literatur: Pengaruh penggunaan PhET simulation meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dalam era society 5.0. *23(01)*, 43–47.
- Muna, N., & Linuwih, S. (2019). Analisis kemampuan berpikir kritis siswa menggunakan two-tier multiple choice test berbasis HOTS pada materi termodinamika. 307–318.
- Nisa, S., Fadilah, U., Munthe, T. Y., Kartikarini, A., & Virtual, L. (n.d.). Mendorong kemampuan berpikir kritis siswa melalui pembelajaran berbasis PBL berbantuan laboratorium virtual. 207–213.
- Nur, R. A. (2026). Pengaruh penerapan model pembelajaran berbasis masalah terhadap kemampuan berpikir kritis dan hasil belajar siswa. *10(1)*, 21–32.
- Nurita, T., Zumar, M., Ermawan, F., Rizka, S. L., & Fauzi, A. (2023). Analisis keterampilan berpikir kritis siswa SMP dalam pembelajaran IPA berbasis kearifan lokal pada materi bunyi.
- Penelitian, J., Pendidikan, E., & Title, A. (2025). *Afeksi: Jurnal Penelitian dan Evaluasi Pendidikan*, 1–9.
- Pramessti, A. H., Perdana, P. I., Guru, P., Dasar, S., Pendidikan, F. I., Madura, U. T., Kunci, K., & Kunci, K. (2024). Pengaruh PhET terhadap berpikir kritis materi matematika kelas IV SDN Banyuajuh 3. *2(2)*, 190–199.
- Purwana, I. G., & Saputra, E. (2025). Efektivitas pembelajaran fisika berorientasi guided inquiry berbantuan PhET simulasi terhadap pengembangan keterampilan proses sains siswa. *17(2)*. <https://doi.org/10.35457/konstruk.v17i2.4646>
- Putri, A. N. L. (2024). Meta analisis kemampuan berpikir kritis siswa SMP dalam. *15(1)*, 43–48. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v15i1.15580>
- Putri, N. A. (2025). Efektivitas model problem based learning dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. *3(4)*, 592–602.
- Rahmawati, D., Jannah, N., Ragil, I., & Atmojo, W. (2022). *Learning in*, *6(1)*, 1064–1074.
- Rararati, P. A., Nuroso, H., & Kurniawan, A. F. (2024). Kajian literatur: Penggunaan simulasi PhET dalam pembelajaran fisika. *3(2)*, 45–54. <https://doi.org/10.26877/lpt.v3i2.21838>

- Saputri, P. N., Mehora, S., Ningsih, S., Fisikauniversitas, P., November, S., & Phet, S. (2025). Pengaruh media PhET terhadap peningkatan hasil belajar siswa tingkat sekolah menengah pertama. *11*(1), 63–70. <https://doi.org/10.31605/saintifik.v11i1.554>
- Sari, A. P., Hasanah, S., & Nursalman, M. (2024). Uji normalitas dan homogenitas dalam analisis statistik. *8*(2012), 51329–51337.
- Supriyati, E. K. A., Setyawati, O. I. K. A., Purwanti, D. W. I. Y., Sirfa, L., & Prayitno, B. A. D. I. (2018). Profil keterampilan berpikir kritis siswa SMA swasta di Sragen pada materi sistem reproduksi: Profile of private high schools students' critical thinking skills in Sragen on reproductive system. *11*, 74–80.
- Verdian, F., Jadid, M. A., Rahmani, M. N., & Simulation, P. (2020). Studi penggunaan media simulasi PhET dalam. 39–44.
- Wulandari, W., & Warmi, A. (2022). Kemampuan berpikir kritis siswa dalam menyelesaikan soal PISA konten change and relationship dan quantity. *7*(September), 439–452.