

Pengaruh Model *Problem-Based Learning* Berbantuan PhET Simulations Terhadap *Computational Thinking* Peserta Didik

Narmalita Ayu Rahmawati^{1*}, Didik Setyawarno²

¹Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

²Pendidikan IPA Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

*Email Correspondence: narmalitaayu.2022@student.uny.ac.id,

ARTICLE INFO

Article History:

Submitted : February 15, 2026
Final Revised : March 30, 2026
Accepted : March 30, 2026
Published : March 31, 2026

Keywords:

computational thinking, problem-based learning, PhET simulation, science education



This is an open access article under the CC BY-SA

Copyright © 2025 by Author. Published by PT Komunitas Peneliti Alinea

ABSTRACT

Computational thinking (CT) has emerged as a critical competency in 21st-century education; however, junior high school students' proficiency in this skill remains insufficient, particularly in abstract scientific topics such as heat. This study aims to examine differences in students' CT skills and to determine the effect size of implementing a Problem-Based Learning (PBL) model integrated with PhET Simulation in science learning. A quantitative approach with a quasi-experimental nonequivalent control group design was employed. The sample consisted of two seventh-grade classes, selected using cluster random sampling. Data were collected through a CT test encompassing decomposition, pattern recognition, abstraction, and algorithmic thinking, as well as an observation sheet to assess instructional implementation. Data analysis involved descriptive statistics, normalized gain (N-gain), independent samples t-test, and effect size analysis. The results indicate that instructional implementation was categorized as very good (91.5%). The mean CT score in the experimental group increased from 56.11 to 82.22, while the control group improved from 54.58 to 67.14. The independent samples t-test revealed a significant difference between groups in the posttest ($p = 0.001 < 0.05$). The N-gain score in the experimental group was classified as high, whereas the control group achieved a moderate level. The effect size value of 1.856 indicates a strong practical impact. These findings demonstrate that the integration of PBL with PhET Simulation effectively enhances students' computational thinking skills. This study contributes to the theoretical advancement of CT-oriented instructional design and provides practical implications for implementing technology-enhanced science learning.

1. PENDAHULUAN

Pendidikan abad ke-21 menempatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi sebagai kompetensi inti yang harus dikuasai peserta didik dalam menghadapi kompleksitas perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (González-Pérez & Ramírez-Montoya, 2022; Purwanto et al., 2023). *Computational thinking* (CT) berperan sebagai kerangka kognitif yang mencakup dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi, dan perancangan algoritma dalam pemecahan masalah (Aziz et al., 2023). Keterampilan ini memungkinkan peserta didik mengonstruksi pengetahuan secara sistematis, logis, dan berbasis evidensi. Pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) di tingkat SMP menuntut integrasi keterampilan tersebut karena karakteristik materi yang melibatkan fenomena empiris dan representasi konseptual yang kompleks.

Temuan empiris menunjukkan bahwa kemampuan *computational thinking* peserta didik SMP masih berada pada tingkat yang belum memadai. Azkia et al. (2024)

mengidentifikasi kesulitan peserta didik dalam memahami konsep IPA yang bersifat abstrak, terutama pada materi kalor yang menuntut keterkaitan antara konsep teoretis dan fenomena kontekstual. Praktik pembelajaran yang berorientasi pada hafalan memperkuat dominasi aktivitas kognitif tingkat rendah dan membatasi proses penalaran (Kusumawati & Fauzan, 2026). Kondisi tersebut menunjukkan adanya ketidaksesuaian antara tuntutan kurikulum yang menekankan pengembangan computational thinking dan implementasi pembelajaran yang belum memfasilitasi keterampilan tersebut secara sistematis dan terstruktur.

Desain pembelajaran yang berorientasi pada pemecahan masalah memberikan kerangka yang relevan untuk mengembangkan computational thinking (Voon et al., 2022). Problem-Based Learning (PBL) menempatkan peserta didik dalam situasi problematis autentik yang menuntut proses penyelidikan ilmiah (Syamsidah & Suryani, 2018). Model ini mengakomodasi proses identifikasi masalah, eksplorasi alternatif solusi, serta evaluasi hasil secara reflektif sehingga selaras dengan karakteristik computational thinking (Manullang & Simanjuntak, 2023). Implementasi PBL di tingkat SMP masih menunjukkan kecenderungan prosedural dan belum mengintegrasikan indikator computational thinking secara eksplisit. Aktivitas pembelajaran sering kali terbatas pada diskusi tanpa struktur kognitif yang mendalam sehingga belum menghasilkan peningkatan signifikan pada kemampuan berpikir komputasi.

Media pembelajaran interaktif berfungsi sebagai katalis dalam mengoptimalkan implementasi model pembelajaran inovatif (Aryfien et al., 2025). PhET Simulations menyediakan representasi visual dan manipulatif terhadap konsep-konsep abstrak sehingga mendukung proses eksplorasi konseptual secara mandiri (Chinaka, 2021; Rianti et al., 2024). Nugroho et al. (2025) menunjukkan bahwa penggunaan PhET memungkinkan peserta didik mengidentifikasi pola, menyusun prediksi, serta mengevaluasi hasil eksperimen virtual secara sistematis. Karakteristik tersebut menunjukkan keselarasan langsung dengan tahapan computational thinking. Pemanfaatan PhET dalam pembelajaran IPA di tingkat SMP masih bersifat terbatas dan belum diintegrasikan dalam kerangka pedagogis yang secara eksplisit menargetkan pengembangan computational thinking.

Penelitian terdahulu mengonfirmasi efektivitas PBL dan media digital dalam meningkatkan hasil pembelajaran. Fatima et al. (2024) melaporkan peningkatan signifikan kemampuan computational thinking melalui penerapan PBL berbantuan media video. Rianti et al. (2024) menunjukkan peningkatan pemahaman konsep dan keterlibatan peserta didik melalui integrasi PBL dan PhET. Keterbatasan penelitian sebelumnya terlihat pada fokus yang masih terfragmentasi dan belum mengkaji integrasi PBL dan PhET dalam kerangka pengembangan computational thinking sebagai variabel utama. Konteks materi kalor pada jenjang SMP juga belum mendapatkan perhatian yang memadai dalam literatur yang ada.

Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut melalui pengembangan desain pembelajaran yang mengintegrasikan Problem-Based Learning dan PhET Simulations secara sistematis untuk mengembangkan computational thinking peserta didik. Pendekatan ini menempatkan computational thinking sebagai outcome utama yang diukur melalui indikator yang terstruktur. Integrasi ini memberikan kontribusi konseptual dengan memperjelas hubungan antara model pembelajaran berbasis masalah, media simulasi interaktif, dan pengembangan keterampilan abad ke-21. Kontribusi praktis penelitian ini terletak pada penyediaan model implementatif yang dapat direplikasi dalam pembelajaran IPA di tingkat SMP.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan kemampuan computational thinking antara peserta didik pada kelas eksperimen yang menggunakan model Problem-Based Learning berbantuan PhET Simulation dan peserta didik pada kelas kontrol. Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis kekuatan pengaruh penerapan model Problem-Based Learning dalam mengembangkan kemampuan computational thinking peserta didik kelas VII SMP pada pembelajaran IPA materi kalor.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh penerapan model *Problem Based Learning* berbantuan PhET Simulation terhadap kemampuan *computational thinking* peserta didik. Metode penelitian disusun secara sistematis meliputi desain penelitian, lokasi penelitian, kerangka metodologis, teknik pengumpulan data, analisis data, serta uji validitas dan reliabilitas instrumen.

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain *quasi experiment* dengan bentuk *nonequivalent control group design*. Desain ini melibatkan dua kelompok, yaitu kelas eksperimen dan kelas kontrol (Kenny, 1975). Kedua kelompok diberikan *pretest* untuk mengetahui kemampuan awal peserta didik. Selanjutnya, kelas eksperimen diberikan perlakuan berupa model *Problem Based Learning* berbantuan PhET Simulation, sedangkan kelas kontrol menggunakan pembelajaran konvensional. Setelah perlakuan, kedua kelompok diberikan *posttest* untuk mengukur kemampuan *computational thinking* peserta didik.

2.2 Kerangka Metodologi

Kerangka metodologis penelitian ini diawali dengan tahap persiapan yang meliputi penyusunan perangkat pembelajaran dan instrumen penelitian. Tahap pelaksanaan diawali dengan pemberian *pretest* pada kedua kelompok, dilanjutkan dengan pemberian perlakuan pada kelas eksperimen menggunakan model *Problem Based Learning* berbantuan PhET Simulation, sementara kelas kontrol menggunakan pembelajaran konvensional. Tahap akhir dilakukan dengan pemberian *posttest* untuk mengukur kemampuan *computational thinking* peserta didik. Hasil yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh perlakuan yang diberikan.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh peserta didik kelas VII SMP Negeri 2 Kasihan. Sampel penelitian ditentukan menggunakan teknik *cluster random sampling*, sehingga diperoleh kelas VII A sebagai kelas kontrol dan kelas VII B sebagai kelas eksperimen. Teknik pengumpulan data menggunakan metode tes berupa soal *pretest* dan *posttest* dalam bentuk pilihan ganda untuk mengukur kemampuan *computational thinking* yang mencakup aspek dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi, dan algoritma. Selain itu, digunakan lembar observasi untuk mengetahui keterlaksanaan pembelajaran selama proses penelitian berlangsung.

2.4 Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis statistik deskriptif dan inferensial. Analisis deskriptif digunakan untuk mengetahui nilai rata-rata, standar deviasi,

serta peningkatan kemampuan peserta didik melalui perhitungan *N-gain*. Uji prasyarat yang dilakukan meliputi uji normalitas menggunakan Shapiro-Wilk dan uji homogenitas menggunakan uji Levene dengan taraf signifikansi 0,05. Selanjutnya, uji hipotesis dilakukan menggunakan *independent sample t-test* untuk mengetahui perbedaan rata-rata antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Selain itu, dilakukan uji *effect size* untuk mengetahui besar pengaruh perlakuan yang diberikan.

2.5 Validitas dan Reliabilitas

Instrumen penelitian diuji validitas dan reliabilitasnya sebelum digunakan. Uji validitas dilakukan melalui validitas isi, validitas konstruk, dan validitas empiris. Validitas isi dilakukan melalui penilaian oleh ahli, sedangkan validitas empiris dianalisis menggunakan model Rasch dengan bantuan aplikasi Quest. Uji reliabilitas juga dilakukan menggunakan model Rasch untuk mengetahui konsistensi instrumen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa instrumen yang digunakan berada dalam kategori valid dan memiliki tingkat reliabilitas yang memadai, sehingga layak digunakan dalam penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini disajikan berdasarkan beberapa aspek utama, yaitu keterlaksanaan kegiatan pembelajaran, perbedaan kemampuan *computational thinking* antara kelas eksperimen dan kelas kontrol, serta kuat pengaruh model *Problem-Based Learning* berbantuan PhET Simulation terhadap kemampuan tersebut.

3.1 Keterlaksanaan Kegiatan Pembelajaran

Keterlaksanaan kegiatan pembelajaran diamati untuk mengetahui sejauh mana sintaks model *Problem Based Learning* berbantuan PhET Simulation dapat diterapkan selama proses pembelajaran. Hasil observasi menunjukkan bahwa seluruh tahapan pembelajaran dapat terlaksana dengan baik pada setiap pertemuan.

Secara umum, persentase keterlaksanaan pembelajaran pada kelas eksperimen bernilai 91,5% berada pada kategori sangat baik, dimana berada di antara rentang $75\% < PK \leq 100\%$ (Manita, 2013). Hal ini menunjukkan bahwa penerapan model *Problem Based Learning* berbantuan PhET Simulation dapat diimplementasikan secara optimal dalam pembelajaran materi kalor. Keterlaksanaan yang baik ini menjadi faktor pendukung dalam meningkatkan kemampuan *computational thinking* peserta didik.

3.2 Pengaruh Model Pembelajaran Terhadap Kemampuan *Computational Thinking*

Kemampuan *computational thinking* peserta didik dianalisis berdasarkan hasil *pretest* dan *posttest* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kemampuan awal dan akhir peserta didik setelah diberikan perlakuan pembelajaran yang berbeda. Hasil *pretest posttest* ditunjukkan pada table 1.

Tabel 1. Hasil Rata-Rata *Pretest Posttest* pada Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Skor	Kelas Eksperimen		Kelas Kontrol	
	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>
Skor Tertinggi	70	95	70	80
Skor Terendah	40	70	30	45

Skor	Kelas Eksperimen		Kelas Kontrol	
	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>
Rata-Rata	56,11	82,22	54,58	67,14
Standar Deviasi	8,32	7,12	13,39	10,86

Berdasarkan hasil analisis data, terlihat adanya peningkatan nilai rata-rata pada kedua kelas, namun peningkatan yang lebih signifikan terjadi pada kelas eksperimen. Pada kelas eksperimen, nilai rata-rata meningkat dari 56,11 menjadi 82,22, sedangkan pada kelas kontrol meningkat dari 54,58 menjadi 67,14. Selain itu, nilai tertinggi dan terendah pada kelas eksperimen juga menunjukkan peningkatan yang lebih besar dibandingkan kelas kontrol.

Peningkatan nilai rata-rata dari *pretest* ke *posttest* pada kedua kelas menunjukkan adanya perkembangan hasil belajar peserta didik setelah mengikuti pembelajaran. Meski demikian, peningkatan rerata pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan dengan kelas kontrol. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa penerapan model *Problem-Based Learning* berbantuan PhET Simulation cenderung memberikan dampak positif yang lebih besar terhadap hasil belajar peserta didik. Hal ini sesuai dengan pernyataan menurut Bastian & Reswita (2022) mengenai salah satu kelebihan dari pembelajaran berbasis masalah yang berdampak pada hasil belajar bahwa model pembelajaran ini dapat mengembangkan kemampuan berpikir kritis serta mendorong peserta didik untuk mampu beradaptasi dengan pengetahuan baru.

Selain itu dijelaskan juga bahwa tujuan utama dari *Problem-Based Learning* (PBL) bukan sekadar menyampaikan sejumlah besar informasi kepada peserta didik, melainkan lebih menekankan pada pengembangan kemampuan berpikir kritis, keterampilan dalam memecahkan masalah, serta mendorong peserta didik untuk secara aktif membangun pemahamannya sendiri terhadap pengetahuan yang dipelajari (Darwati & Purana, 2021). Hasil tersebut menunjukkan bahwa model *Problem-Based Learning* berbantuan PhET Simulation mampu meningkatkan kemampuan *computational thinking* peserta didik secara lebih optimal dibandingkan pembelajaran konvensional.

Tabel 2. Nilai Rata-Rata Indikator Kemampuan *Computational Thinking*

Indikator Kemampuan <i>Computational Thinking</i>	Jumlah Butir Soal	Kelas Eksperimen		Kelas Kontrol	
		<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>
Dekomposisi	2	9,50	10,00	8,40	8,75
Algoritma	5	11,50	32,50	17,27	24,37
Pengenalan Pola	5	22,25	24,50	17,80	21,87
Abstraksi	3	5,69	14,50	11,02	12,35

Berdasarkan Tabel 2, hasil menunjukkan bahwa seluruh indikator mengalami peningkatan pada kelas eksperimen, dengan peningkatan tertinggi terjadi pada indikator algoritma dan abstraksi. Peningkatan pada setiap indikator menunjukkan bahwa model pembelajaran yang diterapkan mampu melatih peserta didik dalam memecah masalah, mengenali pola, menyederhanakan permasalahan, serta menyusun langkah-langkah penyelesaian secara sistematis.

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas Kemampuan *Computational Thinking*

Kelas	Data	Shapiro-Wilk	
		Asymp. Sig (2 tailed)	Distribusi
Kelas Eksperimen	<i>Pretest</i>	0,109	Normal
	<i>Posttest</i>	0,209	Normal
Kelas Kontrol	<i>Pretest</i>	0,085	Normal
	<i>Posttest</i>	0,277	Normal

Uji normalitas dilakukan apakah data yang diperoleh dari nilai *pretest* dan *posttest* di masing-masing kelas berdistribusi normal. Berdasarkan Tabel 3, diketahui bahwa nilai signifikansi (Sig.) pada kelompok data eksperimen, diperoleh nilai Signifikansi sebesar 0,109 untuk data *pretest* dan 0.209 untuk data *posttest*. Sedangkan pada kelompok data kontrol, diperoleh nilai Signifikansi sebesar 0,085 untuk data *pretest* dan 0,277 untuk data *posttest*. Hasil uji menunjukkan bahwa seluruh data memiliki nilai signifikansi lebih dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal. Data yang berdistribusi normal merupakan salah satu syarat untuk melakukan uji parametrik, seperti *independent sample t-test*.

Tabel 4. Hasil Uji Homogenitas

	Tes	Kelas	Nilai Sig.	Taraf Sig.	Keterangan
<i>Based on Mean</i>	<i>Pretest</i>	Kontrol	0,06	0,05	Homogen
		Eksperimen		0,05	
<i>Based on Mean</i>	<i>Posttest</i>	Kontrol	0,88	0,05	Homogen
		Eksperimen		0,05	

Uji homogenitas dimaksudkan untuk mengetahui kesamaan varians pada dua atau lebih kelompok data. Uji homogenitas pada penelitian ini dilakukan terhadap hasil kemampuan *computational thinking* peserta didik dengan menggunakan perangkat lunak SPSS 27 melalui uji *Levene's Test for Equality of Variances*, khususnya berdasarkan nilai *Based on Mean*. Hasil uji menunjukkan bahwa nilai signifikansi lebih besar dari 0,05, sehingga data dinyatakan homogen. Data yang homogen menunjukkan bahwa kedua kelompok memiliki varians yang sama, sehingga layak untuk dibandingkan menggunakan uji parametrik.

Tabel 5. Hasil Uji N-Gain

Kelas	N-Gain	Kategori
Kelas Eksperimen	1,962	Tinggi
Kelas Kontrol	0,313	Sedang

Uji N-Gain digunakan untuk mengetahui sejauh mana peningkatan kemampuan *computational thinking* peserta didik pada masing-masing kelas setelah mengikuti pembelajaran. Berdasarkan Tabel 5, kelas eksperimen memperoleh nilai N-Gain sebesar 1,962 yang termasuk dalam kategori tinggi, sedangkan kelas kontrol memperoleh nilai N-Gain sebesar 0,313 yang termasuk dalam kategori sedang.

Hal ini sesuai dengan kriteria skor *n-gain* menurut Meltzer & David (2002) bahwa apabila skor $g > 0,7$ masuk ke dalam kriteria tinggi, apabila skor $0,3 < g \leq 0,7$ masuk ke dalam kriteria sedang, serta apabila skor $g \leq 0,3$ masuk ke dalam kategori rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan *computational thinking* peserta didik pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan dengan kelas kontrol.

Tabel 6. Hasil Uji *Independent Sample T-Test*

Kemampuan <i>Computational Thinking</i>	Kelas	Nilai Sig. (2-tailed)	Kriteria	Keterangan
<i>Pretest</i>	Kontrol Eksperimen	0,116	Sig. (2-tailed) < 0,005	Tidak terdapat perbedaan signifikan
<i>Posttest</i>	Kontrol	0,001	Sig. (2-tailed) < 0,005	Terdapat perbedaan signifikan

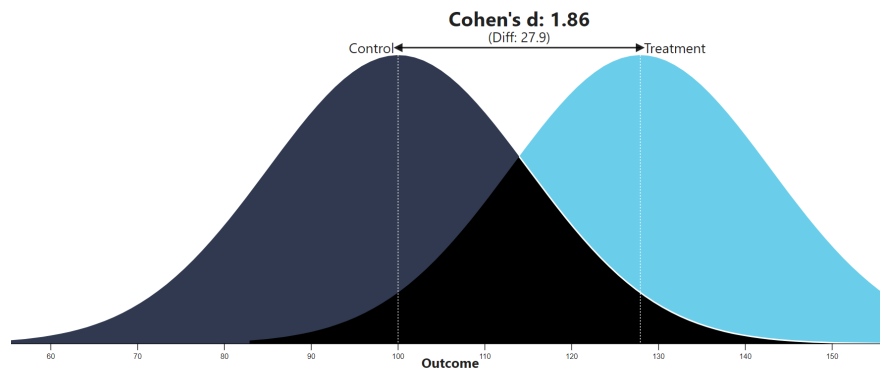
Berdasarkan Tabel 6, hasil analisis uji *independent sample t-test* pada nilai *pretest* untuk kelas eksperimen dan kontrol menunjukkan bahwa nilai Sig. (2-tailed) sebesar $0,116 < 0,005$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa H_0 diterima dan H_1 ditolak, sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Sementara itu, hasil uji *independent sample t-test* pada nilai *posttest* untuk kelas eksperimen dan kontrol menunjukkan nilai Sig. (2-tailed) sebesar $0,001 < 0,005$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima. Perbedaan kemampuan *computational thinking* tersebut menunjukkan bahwa penerapan model *Problem-Based Learning* berbantuan PhET Simulation memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan *computational thinking* peserta didik.

3.3 Kuat Pengaruh Penggunaan Model Pembelajaran *Problem-Based Learning* Berbantuan PhET Simulation Terhadap Kemampuan *Computational Thinking*.

Analisis *effect size* dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh penerapan model pembelajaran yang digunakan. *Effect size* merupakan ukuran yang digunakan untuk mengetahui sejauh mana suatu variabel memberikan pengaruh terhadap variabel lain secara independen dari ukuran sampel (Tela et al., 2019).

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai *effect size* sebesar 1,856 yang termasuk dalam kategori tinggi. Hal ini sesuai dengan klasifikasi yang dikemukakan oleh Cohen et al. (2007), bahwa nilai *effect size* $\geq 1,00$ menunjukkan adanya pengaruh yang kuat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan model *Problem-Based Learning* berbantuan PhET Simulation memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan *computational thinking* peserta didik.

Gambar 1. Grafik Hasil Uji Effect Size



Nilai *effect size* yang tinggi menunjukkan bahwa peserta didik yang mengikuti pembelajaran dengan model ini mengalami peningkatan kemampuan dalam merancang strategi penyelesaian masalah, menyusun algoritma, serta menyelesaikan permasalahan secara sistematis. Hal ini tidak terlepas dari karakteristik model *Problem-Based Learning* yang menuntut peserta didik untuk aktif dalam proses pemecahan masalah.

Pembelajaran berbasis masalah mendorong peserta didik untuk berdiskusi, berbagi informasi, dan menemukan solusi secara kolaboratif, sehingga secara tidak langsung dapat menstimulasi kemampuan berpikir kritis (Firdaus, 2025) dan *computational thinking* (Nurfitriyanti et al., 2022). Selain itu, penggunaan media simulasi seperti PhET Simulation juga berperan dalam membantu peserta didik memahami konsep secara lebih konkret dan interaktif.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa aplikasi PhET menyediakan berbagai aktivitas pemecahan masalah yang dapat diintegrasikan dalam pembelajaran sehingga mampu meningkatkan pemahaman konsep peserta didik (Rianti et al., 2024). Dengan mengombinasikan PhET Simulation dalam model *Problem-Based Learning*, peserta didik tidak hanya memahami konsep, tetapi juga terlatih dalam menyelesaikan permasalahan secara sistematis. Dengan demikian, kombinasi antara model pembelajaran berbasis masalah dan penggunaan media simulasi interaktif seperti PhET Simulation memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan kemampuan *computational thinking* peserta didik.

4. KESIMPULAN

Penerapan *Problem-Based Learning* (PBL) berbantuan PhET Simulation secara signifikan meningkatkan kemampuan *computational thinking* peserta didik pada pembelajaran IPA materi kalor. Perbedaan hasil antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol menegaskan bahwa integrasi model pembelajaran berbasis masalah dengan media simulasi interaktif mampu memfasilitasi proses berpikir yang sistematis, logis, dan berbasis evidensi. Peningkatan yang konsisten pada indikator *computational thinking*, terutama pada aspek algoritma dan abstraksi, mengindikasikan bahwa pendekatan ini efektif dalam mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi.

Penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dalam memperkuat integrasi antara pendekatan pedagogis dan teknologi digital dalam pengembangan *computational thinking*, serta kontribusi praktis berupa model pembelajaran yang dapat diimplementasikan dalam konteks pembelajaran IPA. Keterbatasan penelitian terletak pada cakupan sampel dan konteks materi yang terbatas, sehingga penelitian lanjutan diperlukan untuk menguji generalisasi

temuan pada konteks yang lebih luas serta mengkaji keterkaitan dengan variabel keterampilan abad ke-21 lainnya.

REFERENSI

- Aryfien, W. N., Atmojo, I. R. W., & Matsuri, M. (2025). Interactive learning media for better learning outcomes in elementary school: A systematic literature review. *Mimbar Sekolah Dasar*, 12(1), 132-147.
- Aziz, S. Al, Fauzan, A., & Helma, H. (2023). Computational Thinking Analysis of 21st Century Professional Teacher Candidates In Solving Math Problems Viewed from The Four Foundations of CT. *JURNAL EKSAKTA PENDIDIKAN (JEP)*, 7(2), 211-224. <https://doi.org/10.24036/jep/vol7-iss2/779>
- Azkia, N. A., Setiadi, D., Wahab Jufri, A., & Sukarso, A. (2024). Pengaruh Model Problem Based Learning Berbantuan Liveworksheet Terhadap Kemampuan Computational Thinking Peserta didik. *Journal of Classroom Action Research*, 6(3). <https://doi.org/10.29303/jcar.v6i3.8443>
- Bastian, A., & Reswita. (2022). *Model dan Pendekatan Pembelajaran* (S. Wahyuni, Ed.; 1st ed., Vol. 1). CV. Adanu Abimata.
- Chinaka, T. W. (2021). The effect of PhET simulation vs. phenomenon-based experiential learning on students' integration of motion along two independent axes in projectile motion. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 25(2), 185-196.
- Darwati, I. M., & Purana, I. M. (2021). Problem Based Learning (PBL): Suatu Model Pembelajaran Untuk Mengembangkan Cara Berpikir Kritis Peserta Didik. *Widya Accarya*, 12(1), 61-69. <https://doi.org/10.46650/wa.12.1.1056.61-69>
- Firdaus, T. (2025). Research and Trends of Socio-Scientific Issues in Natural Science Education: Bibliometric and Content Analysis Based on Systematic Literature Review. *Journal of Progressive Science Education*, 1(1), 1-18.
- González-Pérez, L. I., & Ramírez-Montoya, M. S. (2022). Components of Education 4.0 in 21st century skills frameworks: systematic review. *Sustainability*, 14(3), 1493.
- Kenny, D. A. (1975). A quasi-experimental approach to assessing treatment effects in the nonequivalent control group design. *Psychological Bulletin*, 82(3), 345.
- Kusumawati, R., & Fauzan, A. (2026). Project Based Learning in Strengthening Higher Order Thinking Skills of Elementary School Students. *The Journal of Educatio et Didactica*, 1(1), 68-84.
- Manita. (2013). Peningkatan Keterampilan Proses Sains Melalui Pembelajaran Kontekstual pada Mahapeserta didik Semester I Materi Dinamika. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia* 9, 43-52.
- Manullang, S. B., & Simanjuntak, E. (2023). Pengaruh Model Problem Based Learning Terhadap Kemampuan Computational Thinking Berbantuan Media Geogebra. *Journal on Education*, 6(1), 7786-7796.
- Meltzer, & David, E. (2002). The Relationship Between Mathematics Preparation and Conceptual Learning Gains in Physics: A possible Hidden Variable in Diagnostic Pretest Scores. *Am. J. Phys*, 1259-1268.
- Nugroho, M. S., Murtiyasa, B., & Masduki. (2025). Efektivitas Simulasi PhET Pada Pembelajaran IPA SMP Materi Konsep Listrik. *Teaching and Learning Journal of Mandalika*, 6(1), 2828-7126.

- Nurfitriyanti, Makki, M., & Husniati. (2022). Analisis Kemampuan Berpikir Kritis Pada Mata Pelajaran Matematika: Studi Pembelajaran Menggunakan Model Problem Based Learning (PBL). *Journal of Classroom Action Research*, 4(2), 39-45. <https://doi.org/10.29303/jcar.v4i3.1845>
- Purwanto, M. B., Hartono, R., & Wahyuni, S. (2023). Essential skills challenges for the 21st century graduates: Creating a generation of high-level competence in the industrial revolution 4.0 era. *Asian Journal of Applied Education (AJAE)*, 2(3), 279-292.
- Rianti, R., Gunawan, Verawati, N. N. S. P., & Taufik, M. (2024). The Effect of Problem Based Learning Model Assisted by PhET Simulation on Understanding Physics Concepts. *Lensa: Jurnal Kependidikan Fisika*, 12(1), 28. <https://doi.org/10.33394/j-lkf.v12i1.8783>
- Syamsidah, & Suryani, H. (2018). *Model Problem Based Learning (PBL)* (1st ed., Vol. 1). Deepublish.
- Voon, X. P., Wong, S. L., & Wong, L. H. (2022). Developing computational thinking competencies through constructivist argumentation learning: A problem-solving perspective. *International Journal of Information and Education Technology*.