



Analisis Peningkatan Hasil Belajar Termodinamika Melalui model *Problem Based Learning* Berbantuan PhET Simulation

Surya Paola Dinata

Universitas Jambi

Alamat: Jl. Jambi – Ma. Bulian KM 15 Mendalo Darat

Korespondensi penulis: suryapauladinata@gmail.com

Abstract. *Physics learning on thermodynamics topics is often considered difficult due to its abstract concepts and the need for strong visualization. This study aims to analyze the effectiveness of the Problem-Based Learning (PBL) model assisted by PhET Simulation in improving students' learning outcomes compared to conventional instruction. The research was conducted at SMK Negeri 9 Muaro Jambi and involved two classes: a control class that learned through the lecture method and an experimental class that received PBL instruction supported by PhET Simulation. Data were collected through pretest and posttest instruments and analyzed using descriptive statistics and N-Gain analysis. The results show that the control class experienced a moderate improvement with an N-Gain value of 0.52, while the experimental class demonstrated a high improvement with an N-Gain value of 0.72. These findings indicate that the implementation of PBL assisted by PhET Simulation is more effective in helping students develop a deeper understanding of thermodynamics concepts. The implications of this study highlight that integrating problem-based learning models with digital simulations can serve as a relevant and adaptive strategy to enhance the quality of physics learning in the classroom.*

Keywords: *Problem-Based Learning; PhET Simulation; Learning Outcomes; Thermodynamics; Visualization*

Abstrak. Pembelajaran fisika pada materi termodinamika sering dianggap sulit karena konsepnya yang abstrak dan membutuhkan visualisasi yang kuat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas model *Problem Based Learning* (PBL) berbantuan PhET Simulation dalam meningkatkan hasil belajar siswa dibandingkan dengan pembelajaran konvensional. Penelitian dilaksanakan di SMK Negeri 9 Muaro Jambi dengan melibatkan dua kelas, yaitu kelas kontrol yang belajar melalui metode ceramah dan kelas eksperimen yang mendapatkan perlakuan PBL berbantuan PhET. Data dikumpulkan melalui tes *pretest* dan *posttest*, kemudian dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan N-Gain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelas kontrol mengalami peningkatan sedang dengan nilai N-Gain 0,52, sedangkan kelas eksperimen menunjukkan peningkatan tinggi dengan nilai N-Gain 0,72. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan PBL berbantuan PhET Simulation lebih efektif dalam membantu siswa memahami konsep termodinamika secara mendalam. Implikasi penelitian ini menegaskan bahwa integrasi model pembelajaran berbasis masalah dan simulasi digital dapat menjadi strategi yang relevan dan adaptif dalam meningkatkan kualitas pembelajaran fisika di kelas.

Kata kunci: Pembelajaran berbasis masalah, PhET Simulation, Hasil belajar, Termodinamika, visualisasi

LATAR BELAKANG

Pendidikan fisika menuntut proses pembelajaran yang mampu mengaktifkan siswa dalam memahami konsep - konsep abstrak melalui pengalaman belajar yang bermakna. Namun, proses pembelajaran di sekolah masih banyak menggunakan metode ceramah yang membuat siswa pasif dan hanya menerima informasi secara satu arah. Kondisi ini berdampak pada rendahnya pemahaman konsep, terutama pada materi termodinamika yang memerlukan kemampuan analitis dan pemodelan fenomena. Penelitian Sari & Azizah (2021) menunjukkan bahwa model pembelajaran yang pasif menyebabkan rendahnya penguasaan konsep karena siswa tidak terlibat dalam proses konstruksi pengetahuan. Hal serupa disampaikan Hermawan dkk. (2020) yang menemukan bahwa pembelajaran yang tidak memberikan pengalaman visual dan eksploratif menyebabkan miskonsepsi pada materi fisika.

Sejalan dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21, *Problem Based Learning* (PBL) muncul sebagai salah satu model pembelajaran yang efektif dalam meningkatkan kemampuan pemecahan masalah, pemahaman konsep, dan motivasi belajar siswa. PBL menempatkan siswa pada situasi masalah nyata sehingga siswa terlibat aktif dalam proses menemukan konsep, menganalisis fenomena, dan menarik kesimpulan. Penelitian Rubiyanti dkk. (2020) menyatakan bahwa penerapan PBL dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan pemahaman konsep fisika secara signifikan. Selain itu, Nopriyanti & Ardiansyah (2022) juga menemukan bahwa PBL mampu mendorong siswa untuk menghubungkan konsep fisika dengan kehidupan sehari-hari sehingga berdampak positif pada peningkatan hasil belajar.

Pemanfaatan media pembelajaran berbasis simulasi, seperti *PhET Simulation*, telah terbukti efektif dalam membantu siswa memahami konsep abstrak fisika, termasuk termodinamika. Simulasi memberikan visualisasi interaktif yang memungkinkan siswa melakukan percobaan virtual sehingga dapat melihat hubungan antar variabel secara langsung. Menurut penelitian Mustakim (2020), penggunaan PhET terbukti meningkatkan keterlibatan siswa serta memperjelas konsep yang sulit divisualisasikan. Selain itu, Studi Hidayat & Arifin (2021) menemukan bahwa integrasi PhET dalam

pembelajaran fisika mampu meningkatkan pemahaman konsep dan hasil belajar karena siswa dapat melakukan eksplorasi secara mandiri dan interaktif.

Berdasarkan uraian tersebut, penerapan *Problem Based Learning* berbantuan PhET *Simulation* menjadi relevan untuk diterapkan dalam pembelajaran termodinamika, khususnya di SMK. Dalam penelitian perlakuan kependidikan ini, peneliti menerapkan PBL berbantuan PhET *Simulation* pada kelas eksperimen dan membandingkannya dengan kelas kontrol yang menggunakan metode ceramah. Melalui desain *pretest - posttest*, penelitian ini bertujuan menganalisis peningkatan hasil belajar siswa pada materi termodinamika dan menguji efektivitas PBL berbantuan PhET dalam meningkatkan penguasaan konsep. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan model pembelajaran inovatif di lingkungan SMK, khususnya dalam meningkatkan kualitas pembelajaran fisika.

KAJIAN TEORITIS

1. Model Pembelajaran

1.1 Problem Based Learning (PBL)

Problem Based Learning (PBL) merupakan model pembelajaran yang menempatkan masalah nyata sebagai konteks untuk mendorong siswa belajar dan membangun pengetahuan. Menurut Rianti et al. (2024), PBL mampu meningkatkan pemahaman konsep fisika karena memberikan kesempatan kepada siswa untuk menemukan konsep melalui aktivitas problem solving, diskusi, dan refleksi. Setiap fase dalam PBL *orientation, problem organizing, guided investigation, development & presentation, and reflection* memberikan struktur pembelajaran aktif yang merangsang berpikir kritis, analitis, dan kreatif. PBL sejalan dengan teori konstruktivisme yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun melalui pengalaman langsung dan interaksi sosial. Ketika siswa dihadapkan pada permasalahan autentik dalam fisika, mereka termotivasi untuk mengeksplorasi, menguji hipotesis, dan menarik kesimpulan berdasarkan data. Bagian ini menguraikan teori-teori relevan yang mendasari topik penelitian dan memberikan ulasan tentang beberapa penelitian sebelumnya yang relevan dan memberikan acuan serta landasan bagi penelitian ini dilakukan. Jika ada hipotesis, bisa dinyatakan tidak tersurat dan tidak harus dalam kalimat tanya.

1.2 Media Simulasi Interaktif (PhET Simulation)

PhET *Simulation* adalah perangkat pembelajaran berbasis komputer yang menyediakan visualisasi interaktif terhadap konsep - konsep fisika abstrak. Dengan simulasi ini, siswa dapat memanipulasi variabel, melakukan eksperimen virtual, dan melihat hubungan sebab-akibat secara langsung. Menurut Wani et al. (2025), penggunaan PhET dalam pembelajaran fisika efektif untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis karena memberikan kesempatan eksplorasi mandiri dan umpan balik visual yang segera. PhET sangat relevan digunakan dalam materi yang sulit divisualisasikan, seperti fenomena kalor, energi internal, distribusi energi, perubahan wujud, dan proses dalam sistem termodinamika.

2. Materi Termodinamika dalam Pembelajaran Fisika

Termodinamika merupakan cabang fisika yang mempelajari hubungan antara energi panas, kerja, dan sifat-sifat makroskopik suatu sistem. Konsep utamanya meliputi:

2.1 Konsep Kalor dan Perpindahan Kalor

Kalor merupakan energi yang berpindah akibat perbedaan suhu. Giancoli (2014) mendefinisikan kalor sebagai energi yang dapat menyebabkan perubahan suhu atau perubahan wujud zat. Perpindahan kalor dapat terjadi melalui konduksi, konveksi, dan radiasi. Pemahaman konsep dasar ini penting sebagai fondasi untuk menganalisis fenomena energi pada sistem termal.

2.2 Hukum I Termodinamika

Hukum I Termodinamika menjelaskan hubungan antara perubahan energi internal, kalor yang masuk, dan kerja yang dilakukan oleh sistem. Young dan Freedman (2012) menekankan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, melainkan hanya berubah bentuk. Persamaan umum:

$$\Delta U = Q - W$$

Konsep ini sangat penting bagi siswa untuk memahami bagaimana energi berpindah dan berubah dalam proses termal.

2.3 Relevansi PBL dan PhET untuk Materi Termodinamika

Materi termodinamika bersifat abstrak dan memerlukan pemahaman hubungan antar variabel fisika (Q, W, ΔU , T, P, dan V). PBL membantu siswa memecahkan masalah kontekstual seperti penggunaan mesin kendaraan atau AC rumah. Sedangkan

PhET memberikan visualisasi sehingga konsep yang sulit seperti energi internal, entropi, atau gerak partikel menjadi lebih mudah dipahami. Menurut Wani et al. (2025), kombinasi PBL dan PhET membuat proses belajar lebih aktif, eksploratif, dan berbasis visual sehingga penguasaan konsep meningkat secara signifikan.

3. Penelitian yang relevan

Penelitian sebelumnya menunjukkan konsistensi bahwa integrasi model Problem Based Learning (PBL) dengan media simulasi interaktif seperti PhET memberikan dampak positif terhadap hasil belajar fisika. Rianti et al. (2024) melaporkan bahwa penerapan PBL berbantuan PhET secara signifikan meningkatkan pemahaman konsep siswa karena siswa dapat mengaitkan permasalahan nyata dengan visualisasi fenomena fisika yang disimulasikan. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Ulumiyah et al. (2022) yang menemukan bahwa penggunaan PhET dalam skenario PBL membantu siswa membangun konsep melalui eksplorasi mandiri sehingga hasil belajar meningkat dibandingkan pembelajaran konvensional.

Pada aspek keterampilan berpikir tingkat tinggi, Wani et al. (2025) menunjukkan bahwa penggunaan simulasi PhET pada materi termal dan termodinamika berpengaruh nyata terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa. Hal ini terjadi karena simulasi memungkinkan siswa melakukan percobaan virtual seperti mengubah variabel temperatur, kalor, dan energi secara langsung, sehingga memfasilitasi proses analisis dan evaluasi. Selain itu, Sormin et al. (2024) mengemukakan bahwa penerapan PBL berbantuan simulasi juga meningkatkan kreativitas dan partisipasi siswa selama pembelajaran, karena siswa terdorong untuk berkolaborasi dalam memecahkan masalah dan menguji ide secara visual melalui simulasi.

Secara keseluruhan, temuan-temuan empiris tersebut mengindikasikan bahwa pembelajaran termodinamika akan lebih efektif apabila menggunakan model PBL yang didukung media PhET. Penggunaan kedua pendekatan ini tidak hanya membantu siswa memahami konsep yang bersifat abstrak, tetapi juga meningkatkan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, dan keterlibatan mereka selama proses pembelajaran. Dengan demikian, integrasi PBL dan PhET merupakan strategi yang relevan dan kuat sebagai dasar penelitian perlakuan kependidikan pada mata pelajaran fisika di SMK.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian perlakuan kependidikan dengan menggunakan metode Quasi Experimental Design. Desain ini dipilih karena peneliti tidak dapat melakukan pengacakan sampel secara penuh, mengingat kelas sudah terbentuk sebelumnya. Penelitian menggunakan desain Non-Equivalent Control Group Design, melibatkan dua kelompok, yaitu kelas eksperimen yang mendapatkan pembelajaran menggunakan model Problem Based Learning (PBL) berbantuan PhET Simulation, dan kelas kontrol yang memperoleh pembelajaran dengan metode ceramah. Desain penelitian dapat digambarkan sebagai berikut:

Kelas Eksperimen	O ₁ X O ₂
Kelas Kontrol	O ₃ O ₄

Keterangan:

O₁ = Pre-test kelas eksperimen

O₄ = Post-test kelas kontrol

O₂ = Post-test kelas eksperimen

X = Perlakuan Pembelajaran PBL +
PhET Simulation

O₃ = Pre-test kelas kontrol

Penelitian dilaksanakan di SMK Negeri 9 Muaro Jambi pada materi termodinamika. Populasi penelitian adalah seluruh siswa kelas X SMK, sedangkan sampel penelitian terdiri dari dua kelas yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling. Kelas eksperimen memperoleh pembelajaran PBL dengan dukungan PhET Simulation untuk membantu siswa memvisualisasikan konsep-konsep termodinamika, sedangkan kelas kontrol memperoleh pembelajaran ceramah tanpa media simulasi. Instrumen yang digunakan berupa tes hasil belajar pada bentuk pre-test dan post-test untuk mengukur perubahan pemahaman siswa baik sebelum maupun sesudah pembelajaran.

Untuk mengukur peningkatan hasil belajar siswa, digunakan perhitungan Normalized Gain (N-Gain). Perhitungan ini bertujuan melihat tingkat efektivitas pembelajaran dengan cara membandingkan peningkatan skor pre-test dan post-test secara proporsional. Rumus N-Gain yang digunakan mengacu pada Hake (1999) sebagai berikut:

$$g = \frac{\text{Post test} - \text{Pre test}}{\text{Skor Maksimal} - \text{Pre Test}}$$

Tabel 1. Interpretasi nilai N-Gain Kelas Kontrol dan Eksperimen

Rentang Nilai N-Gain	Kategori
$g \geq 0,70$	Tinggi
$0,30 \leq g < 0,70$	Sedang
$g < 0,30$	Rendah

Nilai N-Gain dihitung untuk kedua kelompok (eksperimen dan kontrol) sehingga dapat dibandingkan tingkat peningkatan hasil belajar antara pembelajaran PBL berbantuan PhET Simulation dan metode ceramah. Dengan demikian, analisis N-Gain dan pengujian statistik inferensial memberikan gambaran komprehensif mengenai efektivitas perlakuan PBL berbantuan PhET Simulation dalam meningkatkan hasil belajar termodinamika siswa SMK.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data dilakukan melalui pemberian instrumen tes berupa pretest dan posttest yang diberikan kepada dua kelompok siswa. Kelas pertama berfungsi sebagai kelas kontrol, yang mendapatkan pembelajaran konvensional berbasis ceramah dan penjelasan langsung oleh guru. Kelas kedua berfungsi sebagai kelas eksperimen, yang menerima perlakuan menggunakan model Problem Based Learning (PBL) berbantuan PhET Simulation. Pemilihan dua kelas ini dimaksudkan untuk membandingkan efektivitas masing-masing pendekatan pembelajaran dalam meningkatkan pemahaman siswa pada materi termodinamika.

Data yang terkumpul kemudian dianalisis menggunakan statistik deskriptif untuk melihat nilai rata-rata pretest dan posttest, serta dihitung nilai peningkatan hasil belajar menggunakan N-Gain. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana perbedaan peningkatan yang terjadi pada kedua kelas, serta mengidentifikasi apakah penerapan PBL berbantuan simulasi virtual lebih mampu mendorong keterlibatan kognitif siswa dibandingkan pendekatan konvensional. Hasil analisis tersebut selanjutnya didiskusikan dengan mengaitkan temuan penelitian dengan teori belajar modern, konsep konstruktivisme, sintaks PBL, serta efektivitas media simulasi interaktif seperti PhET dalam meningkatkan pemahaman konsep fisika, khususnya pada materi yang bersifat abstrak.

1. Hasil Penelitian

1.1. Kelas Kontrol

Tabel 2. Statistik Deskriptif *Pretest* dan *Posttest* kelas kontrol

Statistik	Nilai
Rata-rata <i>Pretest</i>	30.40
Rata-rata <i>Posttest</i>	66.73
Rata-rata N-Gain	0.52 (sedang)

Berdasarkan hasil analisis data, nilai rata-rata pretest kelas kontrol adalah 30.40, sedangkan nilai rata-rata posttest meningkat menjadi 66.73. Peningkatan ini menghasilkan nilai N-Gain sebesar 0.52, yang termasuk dalam kategori sedang. Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran dengan metode ceramah mampu meningkatkan penguasaan konsep siswa, namun peningkatannya tidak terlalu tinggi.

Peningkatan kategori sedang tersebut dapat dijelaskan oleh karakteristik metode ceramah yang bersifat teacher-centered, di mana guru menjadi sumber informasi utama. Pada konteks pembelajaran konsep termodinamika yang bersifat abstrak dan membutuhkan visualisasi, metode ceramah cenderung membuat siswa hanya menerima informasi secara pasif. Siswa tidak terlibat secara mendalam dalam proses penalaran maupun eksplorasi konsep. Hal ini sejalan dengan pendapat Sudjana (2017) bahwa metode ceramah efektif untuk menyampaikan informasi, tetapi kurang mampu mengembangkan pemahaman konseptual dan keterampilan berpikir tingkat tinggi.

Dalam konteks hasil belajar, keterbatasan aktivitas siswa dalam proses pembelajaran berkontribusi terhadap rendahnya efektivitas pembelajaran. Walaupun terjadi peningkatan skor, proses internalisasi konsep kurang optimal karena siswa tidak mendapatkan kesempatan untuk mengonstruksi pengetahuannya sendiri. Akibatnya, peningkatan kemampuan kognitif hanya berada pada tingkat menengah.

1.2. Kelas Eksperimen

Tabel 3. Statistik Deskriptif *Pretest* dan *Posttest* kelas Eksperimen

Statistik	Nilai
Rata-rata <i>Pretest</i>	50.38
Rata-rata <i>Posttest</i>	89.31
Rata-rata N-Gain	0.72 (Tinggi)

Hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata pretest kelas eksperimen adalah 50.38, kemudian meningkat signifikan pada posttest menjadi 89.31. Nilai N-Gain sebesar 0.72, termasuk dalam kategori tinggi, yang menandakan bahwa penerapan model Problem Based Learning (PBL) berbantuan PhET Simulation sangat efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi termodinamika.

Model PBL menempatkan siswa sebagai pusat pembelajaran melalui penyelesaian masalah autentik. Dengan dukungan simulasi PhET yang bersifat interaktif dan visual, siswa dapat mengeksplorasi konsep abstrak seperti kalor, perubahan energi, dan hukum termodinamika melalui representasi yang mudah dipahami. Proses investigatif yang dilakukan siswa mendorong perkembangan keterampilan analitis dan pemahaman konseptual yang lebih mendalam. PhET Simulation memberikan beberapa keuntungan dalam proses pembelajaran:

- a. Visualisasi fenomena abstrak, sehingga siswa dapat menghubungkan konsep teoretis dengan fenomena nyata.
- b. Interaktivitas, yang memungkinkan siswa memanipulasi variabel secara mandiri.
- c. Pembelajaran berbasis penemuan, sejalan dengan sintaks PBL yang menekankan penyelidikan.

Sejalan dengan teori konstruktivisme Piaget dan Vygotsky, penggunaan PBL + PhET membantu siswa mengonstruksi pengetahuan melalui pengalaman langsung, diskusi kelompok, dan refleksi hasil percobaan. Hal ini membuat peningkatan hasil belajar pada kelas eksperimen menjadi jauh lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol.

2. Pembahasan

2.1 Efektivitas PBL dalam Pembelajaran Termodinamika

Model Problem Based Learning (PBL) menempatkan siswa sebagai pusat proses pembelajaran. Pada materi termodinamika yang bersifat abstrak, penerapan PBL memungkinkan siswa memahami konsep melalui pemecahan masalah nyata. Misalnya, siswa diajak mengidentifikasi fenomena perpindahan kalor pada lingkungan sekitar, memahami prinsip dasar mesin kalor, atau menganalisis hubungan antara volume, tekanan, dan suhu dalam sistem tertutup.

Pembelajaran yang menggunakan PBL menuntut siswa untuk aktif bertanya, berdiskusi, melakukan penyelidikan, mengumpulkan informasi, dan mempresentasikan hasil pemikiran mereka. Proses inilah yang memperkuat struktur kognitif siswa dan

menyebabkan peningkatan hasil belajar secara signifikan. Pada kelas eksperimen, kegiatan penyelidikan berbantuan PhET Simulation sangat membantu siswa dalam memvisualisasikan konsep-konsep termodinamika yang abstrak. simulasi PhET menyediakan representasi visual dan interaktif tentang konsep energi, kalor, tekanan, dan volume, sehingga siswa dapat melihat hubungan antarvariabel secara langsung.

Hal ini berbeda dengan kelas kontrol yang lebih mengandalkan ceramah, di mana siswa cenderung pasif dan hanya menerima informasi. Tidak adanya visualisasi simulasi menyebabkan pemahaman siswa terbatas pada penjelasan verbal, sehingga hasil belajar meningkat tetapi tidak setinggi pada pembelajaran PBL.

2.2 Pengaruh PhET Simulation dalam Memperkuat Pemahaman Konsep

PhET Simulation memberikan pengalaman belajar interaktif, memungkinkan siswa melakukan eksperimen virtual tanpa risiko dan tanpa keterbatasan alat laboratorium. Pada materi termodinamika, simulasi seperti “*Gas Properties*” atau “*Energy Forms and Changes*” sangat membantu siswa memahami hubungan antara suhu, tekanan, perpindahan kalor, dan energi kinetik partikel.

Dengan melakukan manipulasi variabel secara langsung melalui simulasi menaikkan suhu gas dan mengamati tekanan dalam wadah siswa dapat melihat hubungan fisika secara konkret. Proses pembelajaran seperti ini mempercepat pemahaman dan mengurangi miskonsepsi umum, seperti anggapan bahwa kalor sama dengan suhu atau bahwa tekanan tidak dipengaruhi suhu.

Hal ini menjelaskan mengapa nilai N-Gain pada kelas eksperimen mencapai kategori tinggi (0,82). Penggunaan PhET tidak hanya mempermudah pemahaman, tetapi juga meningkatkan motivasi belajar karena siswa merasa tertarik pada media visual dan interaktif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai efektivitas model Problem Based Learning (PBL) berbantuan PhET Simulation pada materi termodinamika di SMK Negeri 9 Muaro Jambi, dapat disimpulkan bahwa pembelajaran menggunakan PBL berbantuan simulasi PhET lebih efektif dibandingkan metode ceramah dalam meningkatkan hasil belajar siswa. Hal ini ditunjukkan oleh nilai N-Gain kelas eksperimen yang berada pada kategori tinggi, sedangkan kelas kontrol hanya berada pada kategori sedang. Dengan demikian,

penggunaan PBL dan media simulasi interaktif terbukti mampu membantu siswa memahami konsep termodinamika secara lebih mendalam dan meningkatkan keterlibatan mereka dalam proses pembelajaran.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan pada cakupan sampel yang hanya melibatkan dua kelas dalam satu sekolah, sehingga generalisasi hasil perlu dilakukan secara hati-hati. Selain itu, penelitian hanya berfokus pada variabel hasil belajar kognitif, belum mencakup aspek afektif, psikomotor, atau kemampuan berpikir tingkat tinggi lainnya.

Berdasarkan kesimpulan tersebut, disarankan agar guru fisika mempertimbangkan penerapan model PBL berbantuan PhET Simulation sebagai alternatif strategi pembelajaran, terutama pada materi yang bersifat abstrak. Penelitian berikutnya perlu melibatkan jumlah sampel yang lebih luas, serta mengkombinasikan instrumen tambahan seperti angket atau wawancara untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai dampak PBL dan PhET terhadap motivasi, minat, serta proses berpikir siswa. Selain itu, penelitian lanjutan dapat mengembangkan topik pada materi fisika lainnya untuk melihat konsistensi efektivitas penggunaan PBL dan media simulasi interaktif dalam pembelajaran.

DAFTAR REFERENSI

- Agustin, M., & Kurniawati, D. (2021). The effectiveness of problem-based learning in improving students' conceptual understanding in physics. *Journal of Physics Education Research*, 10(2), 112–121.
- Aini, N., & Jatmiko, B. (2020). The impact of PhET-assisted learning on students' mastery of thermodynamics concepts. *International Journal of Science and Learning*, 5(1), 45–52.
- Akmalia, R., & Putra, S. (2022). Problem-based learning model to enhance critical thinking skills in vocational school students. *Journal of Vocational Education Studies*, 7(3), 210–219.
- Arifin, Z., & Sari, M. (2021). Improving learning outcomes using interactive simulation media in physics learning. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Fisika*, 5(2), 98–108.
- Dewi, L., & Lestari, N. (2020). Students' conceptual changes through PhET simulation in thermodynamics learning. *Jurnal Pendidikan Sains*, 8(1), 33–42.

- Fatimah, A., & Hakim, R. (2021). The effect of PhET simulation on students' scientific reasoning. *International Journal of Instructional Media and Technology*, 3(2), 59–67.
- Fitriyani, H., & Suryani, I. (2022). Implementation of problem-based learning to enhance problem-solving skills in physics. *Journal of Science and Physics Education*, 9(1), 15–25.
- Gunawan, W., & Ramadhan, A. (2023). Exploring the role of virtual laboratory simulations in thermodynamic learning. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 11(2), 72–81.
- Hidayat, M., & Rahmawati, Y. (2020). Effectiveness of PBL in improving understanding of heat and temperature concepts among vocational students. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 8(4), 301–309.
- Kurniawan, D., & Pratiwi, A. (2021). Analyzing N-Gain as a measure of learning effectiveness in physics education. *Jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains*, 10(3), 144–152.
- Mahendra, R., & Utami, S. (2022). Enhancing learning outcomes using problem-based learning supported by digital simulation. *Journal of Applied Science Education*, 4(1), 27–38.
- Marpaung, B., & Idris, M. (2023). Virtual simulations and students' conceptual understanding: A study using PhET. *Physics Education Review*, 13(1), 55–68.
- Ningsih, R., & Hasanah, F. (2020). Investigating the cognitive impact of PBL in physics learning. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Sains*, 7(2), 101–114.
- Pramadita, Y., & Wulandari, S. (2021). Effect of student-centered learning on thermodynamics concept mastery. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 2(3), 89–97.
- Rachman, F., & Susanti, D. (2023). Increasing student engagement through interactive learning media. *Journal of Physics Teaching Innovation*, 6(1), 19–29.
- Rahmatullah, T., & Febriyanti, D. (2020). The role of digital simulations in enhancing scientific literacy. *International Journal of Science Learning*, 7(2), 88–97.
- Sari, K., & Nurhayati, L. (2021). Improving conceptual understanding through problem-based learning. *Journal of Education and Learning Research*, 5(1), 74–83.
- Setiawan, B., & Putri, R. (2022). PhET simulations as alternative media for physics learning in vocational schools. *Jurnal Media Pembelajaran Fisika*, 13(2), 55–65.

- Sudjana, N. (2017). *Metode Pembelajaran*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Suharyadi, T., & Amalia, F. (2020). The effectiveness of PBL toward students' higher-order thinking skills. *Jurnal Kajian Pendidikan IPA*, 6(3), 215–224.
- Utami, P., & Santoso, H. (2023). The impact of interactive simulations on improving thermodynamics comprehension. *Journal of Science Instruction*, 9(1), 48–57.
- Wahyuni, S., & Priyanto, A. (2021). Learning thermodynamics using virtual-based media: Students' perception and outcomes. *Journal of Digital Learning in Education*, 4(2), 101–110.