

**PENINGKATAN KEMAMPUAN LITERASI DAN NUMERASI SISWA MELALUI  
PELATIHAN PENGGUNAAN PHET SIMULATION PADA PEMBELAJARAN  
FISIKA BERBASIS STEM**

<sup>1)</sup>Vina Serevina\*, <sup>2)</sup>Hadi Nasbey, <sup>3)</sup>Diki Maulana, <sup>4)</sup>Muhammad Abrar A, <sup>5)</sup>Jaimin,  
<sup>6)</sup>Neneng Syafni Syandri, <sup>7)</sup>Dian Karina, <sup>8)</sup>Siti Nadiroh

<sup>1,2,3,4</sup>Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

<sup>5,6,7,8</sup>SMP Negeri 1 Cipanas, Indonesia

Email: vina.serevina77@gmail.com<sup>1\*</sup>

**Abstrak**

*Urgensi pengabdian pada masyarakat (P2M) ini, berdasarkan hasil survei awal di SMP Negeri 1 Cipanas, rumusan masalahnya yaitu: 1) siswa kurang menguasai teknologi informasi dan kurang terampil menggunakan PhET Simulation; 2) siswa merasa bosan ketika belajar di kelas; 3) pembelajaran di kelas kurang aktif; 4) penggunaan media dan video pembelajaran terbatas; 5) kemampuan literasi dan numerasi siswa masih rendah sesuai dengan hasil TKA. Oleh karena itu, solusi permasalahan yang ditawarkan adalah peningkatan penguasaan teknologi informasi, literasi, dan numerasi yang memberikan alternatif bagi pendidik dan peserta didik dalam memanfaatkan berbagai media pembelajaran secara luring maupun daring melalui Physics Education and Technology (PhET). Tujuan dari kegiatan pengabdian ini adalah untuk meningkatkan kemampuan literasi dan numerasi sekaligus memberikan pemahaman serta keterampilan kepada siswa dalam memanfaatkan PhET Simulation sebagai media pembelajaran fisika berbasis STEM. Kegiatan ini menggunakan metode kualitatif deskriptif dengan pendekatan pelatihan interaktif, yang meliputi pre-test, penyampaian materi, penggunaan simulasi PhET, serta post-test. Hasil pelaksanaan menunjukkan adanya peningkatan kemampuan literasi siswa dari rata-rata 67 menjadi 72, dan numerasi dari 59 menjadi 64. Sehingga kegiatan pelatihan menggunakan PhET Simulation ini dapat meningkatkan kemampuan literasi dan numerasi siswa serta mendukung SDGs no. 4 (quality education).*

**Abstract**

*The urgency of this community service (P2M) program is based on the results of a preliminary survey conducted at SMP Negeri 1 Cipanas, which identified several key problems: (1) students have limited mastery of information technology and lack proficiency in using PhET Simulation; (2) students feel bored during classroom learning; (3) classroom learning tends to be less interactive; (4) the use of instructional media and learning videos is limited; and (5) students' literacy and numeracy skills remain relatively low, as indicated by the TKA results. Therefore, the proposed solution is to improve students' mastery of information technology, literacy, and numeracy skills by providing alternative learning approaches for both teachers and students through the use of various learning media, both offline and online, utilizing Physics Education and Technology (PhET). The objective of this activity is to enhance students' literacy and numeracy skills while also equipping them with the understanding and skills to utilize PhET Simulation as a STEM-based physics learning medium. This activity employs a descriptive qualitative method with an interactive training approach, including pre-tests, material presentation, the use of PhET simulations, and post-tests. The results indicate an improvement in students' literacy skills from an average score of 67 to 72 and numeracy skills from 59 to 64. Thus, the implementation of PhET Simulation-based training is effective in improving students' literacy and numeracy skills and supports the achievement of SDG No. 4 (Quality Education).*

**Kata Kunci:** Kemampuan Literasi, Kemampuan Numerasi, Media Pembelajaran Fisika, Pendekatan STEM, PhET Simulation

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di abad ke-21 memberikan peluang luas bagi pendidik untuk melakukan inovasi pembelajaran (Mallari, 2020). Meskipun pembelajaran dilaksanakan secara luring, kondisi ini menuntut guru untuk lebih kreatif dan inovatif dalam memanfaatkan teknologi agar kualitas pembelajaran optimal (Salame, 2021). Pemanfaatan teknologi pembelajaran membuka peluang bagi siswa untuk mengakses sumber belajar yang beragam, interaktif, dan kontekstual (Serevina, 2022).

Optimalisasi pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran menghadapi berbagai kendala, terutama rendahnya motivasi dan keterampilan guru serta siswa dalam menggunakan teknologi pembelajaran (Agustina, 2021). Padahal, integrasi teknologi dapat membantu meringankan tugas pendidik, baik dalam penyampaian materi maupun proses evaluasi pembelajaran (Perkins, 2020). Guru tidak selalu harus hadir secara fisik di ruang kelas serta dapat mengurangi biaya operasional (Putri, 2024).

Teknologi pembelajaran membuat guru menyajikan materi berupa video pembelajaran, animasi interaktif, serta laboratorium virtual (Simbolon, 2023). Variasi penyajian materi terbukti meningkatkan minat belajar siswa dan membantu memahami konsep abstrak secara lebih konkret (Verdian, 2021). Maka, proses pembelajaran perlu dikembangkan agar selaras dengan perkembangan teknologi dan tuntutan pembelajaran abad ke-21 (Kefalis, 2025).

Pembelajaran fisika pada materi teori kinetik gas sangat relevan dikembangkan dengan pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*) (Afriliana, 2024). Dari aspek science, teori kinetik gas menjelaskan bahwa gas tersusun atas partikel-partikel yang bergerak acak dan saling bertumbukan dengan dinding wadah yang menjadi dasar pemahaman konsep tekanan, suhu, dan energi kinetik partikel (Serway, 2019). Dari aspek technology, penggunaan PhET Simulation memungkinkan visualisasi interaktif yang membantu siswa mengamati pengaruh perubahan suhu, volume, dan jumlah partikel terhadap tekanan gas (Perkins, 2006).

Dari aspek engineering, teori kinetik gas diaplikasikan dalam perancangan sistem teknologi seperti sistem distribusi gas yang menuntut pemahaman hubungan antara tekanan, suhu, dan volume dalam sistem (Cengel, 2015). Dari aspek mathematics, teori kinetik gas melibatkan persamaan gas ideal  $PV = nRT$ , hubungan energi kinetik dengan suhu, serta distribusi kecepatan partikel Maxwell–Boltzmann (Reif, 2008).

Penggunaan PhET Simulation dalam teori kinetik gas berbasis STEM memiliki relevansi kuat dalam meningkatkan kemampuan literasi dan numerasi siswa (serevina, 2025). Simulasi interaktif memungkinkan siswa mengamati fenomena yang tidak dapat dilihat langsung, sehingga membantu meningkatkan literasi sains melalui pemahaman konseptual mendalam (Pamungkas, 2025). Siswa dapat melakukan eksplorasi mandiri dan menemukan hubungan sebab-akibat dalam sistem gas melalui pendekatan inkuiri (Fitriani, 2024).

Dari sisi numerasi, PhET Simulation membantu siswa menganalisis data kuantitatif yang disajikan dalam grafik, tabel, dan persamaan matematika (Hake, 1998). Melalui eksperimen virtual, siswa dapat memanipulasi variabel seperti suhu dan volume serta mengamati dampaknya terhadap tekanan gas, sehingga memperkuat pemahaman terhadap hukum gas (Wieman, 2008). Aktivitas juga melatih kemampuan berpikir logis, pemecahan masalah, dan penalaran matematis siswa (OCED, 2019).

Pelatihan media pembelajaran fisika berbasis STEM menggunakan PhET Simulation memberikan manfaat dalam mempersiapkan siswa menghadapi tantangan dan perkembangan teknologi di masa depan (National Research Council, 2012). Literasi sains dan numerasi merupakan kompetensi esensial dalam kurikulum merdeka dengan pendekatan deep learning yang menekankan pembelajaran bermakna, reflektif, dan kontekstual (Kemendikbudristek, 2022). Dengan membiasakan siswa menggunakan teknologi pembelajaran, mereka diharapkan lebih siap memahami konsep ilmiah yang kompleks dan mengaplikasikannya

dalam kehidupan sehari-hari (Bybee, 2013).

Berdasarkan hasil observasi langsung di SMPN 1 Cipanas, diperoleh temuan bahwa sekolah tersebut belum pernah melaksanakan pelatihan media pembelajaran fisika berbasis STEM menggunakan PhET Simulation. Selain itu, siswa belum mahir menggunakan PhET Simulation pada materi teori kinetik gas, serta belum pernah dilakukan pengukuran kemampuan literasi dan numerasi pada materi tersebut. Oleh karena itu, kegiatan pengabdian kepada masyarakat berupa Pelatihan Media Pembelajaran Fisika Berbasis STEM Menggunakan PhET Simulation dinilai sangat diperlukan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran serta kemampuan literasi dan numerasi siswa di SMPN 1 Cipanas. Bukti hasil observasi langsung disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diskusi dengan Guru IPA dan Kepala Sekolah

Pada gambar 1 merupakan kegiatan persiapan P2M yaitu melakukan observasi langsung ke SMPN 1 Cipanas. Tujuan dari observasi dilakukan untuk mengamati situasi dan kondisi di SMPN 1 Cipanas. Observasi juga dilakukan dengan berdiskusi antara pengabdian, guru IPA dan kepala sekolah dalam melakukan perjanjian mitra P2M.



Gambar 2. Survei Awal Analisis Kebutuhan di Kelas.

Setelah observasi, dilakukan survei analisis kebutuhan yang disajikan pada gambar 2 di salah satu kelas VIII dengan jumlah responden sebanyak 36 siswa. Survei dilakukan saat jam istirahat dan berkaitan dengan kebutuhan pelatihan. Hasil wawancara menunjukkan bahwa pelatihan serupa pernah dilakukan pada angkatan tahun 2022, namun siswa angkatan saat ini belum pernah mengikuti pelatihan tersebut sehingga belum mengenal dan menggunakan PhET Simulation secara optimal.



Gambar 3. Diskusi Bersama Guru dan Siswa.

Gambar 3 menunjukkan kegiatan diskusi bersama guru dan siswa yang dipadukan dengan survei menggunakan Google Form. Survei diisi oleh 36 siswa, dengan 5 siswa mengisi secara langsung di lokasi kegiatan dan 31 siswa mengisi secara daring melalui tautan yang dibagikan pada grup WhatsApp. Hasil survei tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Survei P2M

No	Pertanyaan	Jawaban		
		Ya	Tidak	Netral
1.	Apakah SMPN 1 Cipanas pernah melakukan pelatihan media pembelajaran fisika berbasis STEM?	75%	10%	15%
2.	Apakah setiap siswa belum mahir menggunakan PhET Simulation teori kinetik gas sebagai media pembelajaran fisika?	80%	10%	10%
3.	Apakah setiap siswa pernah dilakukan tes kemampuan literasi dan numerasi pada materi teori kinetik gas?	0%	100%	0%
4.	Apakah dibutuhkan pengabdian masyarakat terkait Pelatihan Media Pembelajaran Fisika Berbasis STEM Menggunakan PhET Simulation untuk Meningkatkan Kemampuan Literasi dan Numerasi Siswa di SMPN 1 Cipanas?	95%	5%	0%

Berdasarkan analisis situasi di atas, dibutuhkan untuk melakukan pengabdian pada masyarakat terkait Pelatihan Media Pembelajaran Fisika Berbasis STEM Menggunakan PhET Simulation yang Dapat Meningkatkan Kemampuan Literasi dan Numerasi Siswa di SMP Negeri 1 Cipanas.

## 2. MASALAH

Apakah kegiatan pelatihan media pembelajaran fisika berbasis STEM dengan menggunakan PhET Simulation dapat meningkatkan kemampuan literasi dan numerasi siswa kelas VIII SMP?

## 3. METODE PELAKSANAAN

Kegiatan pelatihan media pembelajaran fisika berbasis STEM menggunakan PhET *Simulation* untuk meningkatkan kemampuan literasi dan numerasi siswa di SMP Negeri 1 Cipanas, Cianjur, Jawa Barat dilaksanakan pada hari Selasa 07 April 2026. Lokasi kegiatan adalah di SMP Negeri 1 Cipanas, dengan peserta yang terdiri dari 75 siswa. Kegiatan ini bertujuan untuk memberikan pemahaman serta keterampilan kepada siswa dalam memanfaatkan PhET Simulation sebagai media pembelajaran fisika berbasis STEM, sekaligus meningkatkan kemampuan literasi dan numerasi mereka.

Pada kegiatan pengabdian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif melalui pelatihan interaktif, disertai pemberian pre-test dan post-test untuk melihat perkembangan kemampuan literasi dan numerasi siswa tanpa melakukan analisis statistik. Sebelum pre-test dilaksanakan, siswa terlebih dahulu memperoleh materi mengenai teori kinetik gas berbasis STEM agar mereka dapat memahami konsep fisika yang kompleks dengan lebih menarik dan interaktif. Setelah materi diberikan, siswa mengerjakan pre-test untuk mengetahui kemampuan literasi

dan numerasi awal mereka. Selanjutnya, kegiatan pelatihan dilanjutkan dengan pengenalan PhET Simulation beserta cara pemanfaatannya dalam pembelajaran fisika. Setelah seluruh sesi pelatihan selesai, siswa kemudian mengerjakan post-test untuk mengetahui peningkatan kemampuan literasi dan numerasi mereka.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan pada hari Selasa, 07 April 2026, berlokasi di SMP Negeri 1 Cipanas. Kegiatan tersebut diikuti oleh 75 siswa kelas VIII yang dipilih sebagai peserta pelatihan. Fokus utamanya adalah memberikan pelatihan penggunaan media pembelajaran fisika berbasis STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) melalui PhET Simulation untuk meningkatkan kemampuan literasi dan numerasi siswa, terutama pada materi teori kinetik gas. Seluruh rangkaian dimulai dengan tahap persiapan, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. Persiapan pelatihan

Pada tahap persiapan, tim dosen dan mahasiswa dari institusi pelaksana melakukan berbagai langkah awal, termasuk berkoordinasi dengan pihak sekolah, menata ruangan, serta memeriksa kesiapan perangkat pembelajaran digital seperti proyektor, laptop, dan jaringan internet. Kegiatan dibuka secara resmi melalui sambutan dari kepala sekolah SMPN 1 Cipanas dan ketua tim pelaksana. Setelah itu, acara dilanjutkan dengan penyerahan cendera mata kepada pihak sekolah, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5 berikut:



Gambar 5. Penyerahan plakat kepada kepala sekolah SMPN 1 Cipanas

Pada gambar 5 terlihat dosen fisika memberikan plakat sebagai bentuk apresiasi atas kerja sama dan dukungan pihak sekolah dalam pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Penyerahan tersebut dilakukan secara simbolis di hadapan guru sebagai bagian dari rangkaian acara pembukaan. Setelah sesi pembukaan selesai, kegiatan dilanjutkan dengan penyampaian materi mengenai teori kinetik gas berbasis STEM oleh dosen fisika, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 6 berikut:



Gambar 6. Pemberian materi teori kinetik gas berbasis STEM dengan *PowerPoint*

Materi disajikan menggunakan media *PowerPoint* yang mengintegrasikan unsur *sains, teknologi, rekayasa, dan matematika*. Dalam proses penyampaian, dosen menekankan pemahaman mengenai konsep partikel gas, keterkaitan antara suhu dan energi kinetik, serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Setelah itu, dilakukan pre-test untuk mengukur kemampuan awal siswa dalam memahami materi tersebut, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 7:



Gambar 7. Pre-test tentang teori kinetik gas

Pre-test berisi soal-soal literasi dan numerasi. Soal literasi sains disusun untuk menilai kemampuan siswa dalam memahami teks ilmiah serta membaca informasi visual, sedangkan soal numerasi digunakan untuk mengukur keterampilan perhitungan dan kemampuan menginterpretasi data kuantitatif. Setelah tahap ini, kegiatan berlanjut ke sesi pelatihan menggunakan PhET Simulation, seperti ditunjukkan pada gambar 8 berikut:



Gambar 8. Penjelasan teori kinetik gas dengan PhET simulation

Melalui simulasi ini, siswa diajak untuk secara langsung mengeksplorasi pergerakan partikel gas pada berbagai kondisi suhu dan volume. Pemanfaatan PhET Simulation diawali dengan demonstrasi oleh mahasiswa, kemudian dilanjutkan dengan kegiatan eksperimen mandiri oleh siswa yang tetap didampingi oleh tim pelaksana. Siswa terlihat antusias dalam mencoba beragam fitur yang tersedia serta mencatat perubahan yang terjadi pada sistem gas. Pendekatan berbasis STEM ini mempermudah siswa dalam memahami konsep fisika yang bersifat abstrak melalui visualisasi, pemodelan, serta analisis data yang dapat dimanipulasi secara real time.



Gambar 9. Post test materi teori kinetik gas

Setelah sesi simulasi selesai, siswa mengerjakan post-test yang berisi soal serupa dengan pre-test namun telah disesuaikan untuk menilai peningkatan pemahaman mereka (seperti terlihat pada gambar 9). Setelah pelaksanaan post-test, kegiatan dilanjutkan dengan sesi dokumentasi, yang ditampilkan pada gambar 10 di bawah ini:

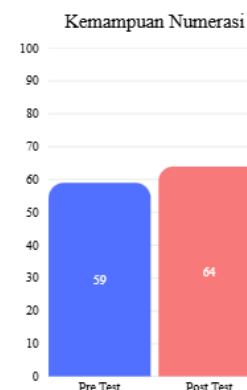


Gambar 10. Sesi dokumentasi dan penutupan

Sesi dokumentasi ini menjadi tahap akhir dari rangkaian kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Dokumentasi kegiatan disajikan dalam bentuk video ringkasan yang memuat cuplikan pelaksanaan pelatihan serta penjelasan tambahan, dan dapat diakses melalui tautan berikut: <https://youtu.be/1Bi8V3EP5hI>. Video tersebut digunakan sebagai data pendukung untuk memberikan gambaran umum terkait implementasi kegiatan di lapangan. Selanjutnya, gambar 11 di bawah ini menampilkan hasil pre-test dan post-test terkait kemampuan literasi dan numerasi siswa:



Gambar 11a. Rata-rata kemampuan literasi



Gambar 11b. Rata-rata kemampuan numerasi

Berdasarkan Gambar 11a, nilai rata-rata literasi siswa mengalami peningkatan dari 67 menjadi 72, sehingga terdapat kenaikan sebesar 5 poin. Pada Gambar 11b, nilai rata-rata numerasi siswa juga menunjukkan peningkatan yang sama, yaitu dari 59 menjadi 64, dengan selisih kenaikan 5 poin. Karena kedua aspek literasi dan numerasi mengalami peningkatan yang setara, hal ini menunjukkan bahwa pelatihan media pembelajaran fisika berbasis STEM menggunakan PhET Simulation memberikan pengaruh yang relatif seimbang terhadap pengembangan kemampuan literasi maupun numerasi siswa. Dengan demikian, penggunaan PhET Simulation dapat meningkatkan kedua kemampuan tersebut secara bersamaan.

## 5. KESIMPULAN

Dari kegiatan pengabdian kepada masyarakat mengenai pelatihan penggunaan media pembelajaran fisika berbasis STEM dengan PhET Simulation di SMPN 1 Cipanas, dapat disimpulkan bahwa: 1) siswa menguasai teknologi informasi dan terampil menggunakan PhET Simulation; 2) dengan adanya phet simulation pembelajaran IPA menjadi menyenangkan dan asik; 3) pembelajaran di kelas menjadi interaktif; 4) penguasaan teknologi media pembelajaran; 5) kemampuan literasi dan numerasi siswa menjadi meningkat.

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Pengabdian ini didanai oleh Dana hibah P2M LPPM UNJ 2026, SK No. 41/PPM-KPIP/LPPM/III/2026. Kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak di SMPN 1 Cipanas, Cianjur, Jawa Barat atas dukungan dan partisipasi aktif yang diberikan selama proses pengumpulan data dan informasi, sehingga kegiatan pengabdian ini dapat berjalan dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afriliana, A., & Diyana, T. N. (2024). Pengembangan multimedia interaktif berbantuan PhET pada materi teori kinetik gas. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 13(1), 45–53.
- Agustina, F. R. (2021). Development of STEM Model Student Worksheets with PhET Simulation on Hooke's Law Material to Improve the Ability Students' Critical Thinking. *Journal of Physics: Conference Series*, 2110(1), 12023.
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An engineering approach (8th ed.)*. McGraw-Hill Education. <https://openlibrary.org/works/OL45804W>.
- Fitriani, A. (2024). Comparison of the effect of using virtual laboratory based on PhET simulation and real laboratory on students' learning outcomes. *Tekno-Pedagogi: Jurnal Teknologi Pendidikan*, 14(2), 101–109.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74.
- Kefalis, C. (2025). Digital simulations in STEM education: Enhancing conceptual understanding and engagement. *Education Sciences*, 15(1), 10. <https://www.mdpi.com/2673-8392/5/1/10>.

- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2022). *Kurikulum merdeka: Kerangka dasar*. <https://kurikulum.kemdikbud.go.id>.
- Mallari, R. L. (2020). The Effectiveness of Integrating PhET Interactive Simulation-based Activities in Improving the Student's Academic Performance in Science. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 8(9), 1150–1153.
- National Research Council. (2012). *A framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press.
- OECD. (2019). *PISA 2018 assessment and analytical framework*. OECD Publishing. <https://www.oecd.org/pisa/publications/pisa-2018-assessment-and-analytical-framework-b25efab8-en.htm>.
- Pamungkas, O., Widowati, A., Kurniawan, L., & Agusta, F. (2025). Design and evaluation of PBL-STEM based electronic worksheets supported by PhET virtual physics labs to enhance science literacy. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 26(1), 1–12.
- Perkins, K. (2020). Transforming STEM Learning at Scale: PhET Interactive Simulations. *Childhood Education*, 96(4), 42–49. <https://doi.org/10.1080/00094056.2020.1796451>.
- Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., & Wieman, C. (2006). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. *The Physics Teacher*, 44(1), 18–23. <https://phet.colorado.edu/en/publications>.
- Putri, N. S., Yektyastuti, R., & Safari, Y. (2024). Implementation of physics education technology (PhET) media on students' science concept understanding: A literature review. *Educational Researcher Journal*, 3(1), 1–10.
- Reif, F. (2008). *Applying cognitive science to education: Thinking and learning in scientific and mathematical domains*. MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/9780262182538>
- Salame, I. I., & Makki, J. (2021). Examining the Use of PhET Simulations on Students' Attitudes and Learning in General Chemistry II. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 17(4), e2247.
- Serevina, V., & Hamidah, I. (2022, November). Science, Technology, Engineering, And Math (STEM) based geothermal energy source digital module assisted by canva application. *In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2377, No. 1, p. 012063). IOP Publishing.
- Serevina, V., Nasbey, H., & Fitri, U. R. (2025). Pelatihan media pembelajaran fisika berbasis STEM menggunakan PhET simulation untuk meningkatkan literasi dan numerasi siswa. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Nusantara*, 6(1), 55–63.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2019). *Physics for scientists and engineers (10th ed.)*. Cengage Learning. <https://openlibrary.org/works/OL17357998W>.
- Simbolon, D. H., & Silalahi, E. K. (2023). Virtual laboratory-based physics learning using PhET simulation to improve student learning activities. *Jurnal Ilmiah Sekolah Dasar*, 7(2), 312–320.
- Verdian, R., Setiawan, A., & Nugraha, M. G. (2021). Studi penggunaan media simulasi PhET

dalam pembelajaran fisika. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 1(2), 85–92.

Wieman, C. E., Adams, W. K., & Perkins, K. K. (2008). PhET: Simulations that enhance learning. *Science*, 322(5902), 682–683.