

Studi Eksperimen Penggunaan Simulasi PhET dan Metode *Drill* dalam Pembelajaran Fisika Gerak Peluru pada Mahasiswa Teknologi Hasil Pertanian

Jules Nurhatmi

Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jambi
Jl. Jambi – Muara Bulian No.KM. 15, Mendalo Darat, Kec. Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Jambi

E-mail: jules.nh@unja.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas penggunaan simulasi PhET dan metode *drill* dalam pembelajaran fisika, khususnya pada konsep gerak peluru, pada mahasiswa Teknologi Hasil Pertanian. Penelitian ini menggunakan metode kuasi-eksperimen dengan desain *pretest-posttest* pada dua kelompok mahasiswa. Kelompok eksperimen (R001) yang terdiri dari 37 mahasiswa menggunakan simulasi PhET, sementara kelompok kontrol (R002) yang terdiri dari 40 mahasiswa menggunakan metode *drill*. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan hasil belajar yang signifikan pada kedua kelompok. Rata-rata nilai *posttest* kelompok simulasi PhET meningkat dari 50.41 menjadi 87.15, sedangkan kelompok *drill* meningkat dari 49.75 menjadi 76.05. Uji-t independen menunjukkan perbedaan signifikan antara hasil *posttest* kedua kelompok ($p < 0.001$). Simpulan penelitian ini adalah simulasi PhET lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep gerak peluru dibandingkan metode *drill*. Simulasi ini memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk memanipulasi variabel secara interaktif, sementara metode *drill* lebih berfokus pada pengulangan latihan soal.

Kata kunci: Simulasi PhET, Metode *Drill*, Gerak Peluru, Pembelajaran Fisika

Abstract

This study aims to compare the effectiveness of using PhET simulations and the drill method in physics education, specifically on the projectile motion concept, for students of the Agricultural Technology program. The study employed a quasi-experimental method with a pretest-posttest design on two groups of students. The experimental group (R001), consisting of 37 students, used PhET simulations, while the control group (R002), consisting of 40 students, used the drill method. The results showed a significant increase in learning outcomes for both groups. The average posttest score of the PhET simulation group increased from 50.41 to 87.15, while the drill group's average score increased from 49.75 to 76.05. An independent t-test showed a significant difference between the two groups' posttest results ($p < 0.001$). This study concludes that PhET simulations are more effective in improving students' understanding of projectile motion concepts compared to the drill method. PhET simulations allow students to manipulate variables interactively, while the drill method focuses more on repetition of problem-solving

Keywords: PhET Simulations, Drill Method, Projectile Motion, Physics Learning

PENDAHULUAN

Fisika sebagai salah satu mata kuliah dasar dalam berbagai program studi teknik dan sains memainkan peran penting dalam membentuk pemahaman mahasiswa terhadap fenomena alam dan prinsip-prinsip ilmiah. Dalam konteks program studi Teknologi Hasil

Pertanian (THP), penguasaan konsep-konsep Fisika seperti gerak, energi, dan gaya sangat penting, karena aplikasi fisika dalam bidang ini mencakup mesin-mesin pertanian, teknologi pengolahan hasil, dan mekanika yang terlibat dalam proses agrikultural. Salah satu topik yang krusial adalah gerak peluru, yang memberikan dasar penting dalam memahami mekanika benda jatuh, aplikasi balistik, serta

berbagai fenomena yang terkait dengan transportasi hasil pertanian. Tantangan ini sejalan dengan pandangan konstruktivis yang menekankan bahwa pemahaman mahasiswa terbentuk melalui representasi visual dan eksplorasi aktif terhadap fenomena (Bruner, 1966).

Meskipun gerak peluru merupakan topik yang fundamental, banyak mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahaminya, terutama ketika materi diajarkan secara tradisional melalui pendekatan teoritis tanpa pendukung visual. Penggunaan teknologi digital, seperti simulasi komputer, telah diusulkan sebagai cara untuk membantu memvisualisasikan fenomena yang sulit dipahami ini. Salah satu platform simulasi yang sering digunakan dalam pendidikan fisika adalah PhET Interactive Simulations. Simulasi ini memungkinkan mahasiswa melakukan eksperimen virtual, mengubah parameter, dan mengamati hasilnya secara *real time* tanpa keterbatasan laboratorium fisik (Pranata, 2023). Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa simulasi komputer secara umum mendukung pemahaman konsep sains secara signifikan (Smetana & Bell, 2012) dan selaras dengan prinsip pembelajaran multimedia yang efektif (Clark & Mayer, 2016).

Sementara simulasi memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk berinteraksi dengan konsep fisika secara visual, metode *drill* atau latihan soal juga memiliki keunggulan dalam membantu mahasiswa menguasai keterampilan penyelesaian masalah secara sistematis (Liana dkk., 2023). Latihan soal memungkinkan mahasiswa untuk mengaplikasikan pengetahuan teoretis ke dalam penyelesaian soal-soal yang memerlukan pemahaman mendalam terhadap variabel-variabel fisika dan kemampuan analitis yang tinggi (Zuza dkk., 2016).

Drill secara tradisional dianggap efektif untuk meningkatkan keterampilan praktis, khususnya dalam konteks ujian atau evaluasi formal (Sudirman & Zain, 2023a). Pendekatan ini konsisten dengan teori belajar yang menekankan bahwa pengulangan terstruktur dapat memperkuat pembentukan skema dan keterampilan prosedural (Gredler, 2009).

Selain itu, hasil penelitian klasik menunjukkan bahwa instruksi langsung yang terarah dapat menghasilkan performa pemecahan masalah yang lebih efektif dibandingkan pembelajaran berbasis penemuan (Klahr & Nigam, 2004).

Penelitian-penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa penggunaan simulasi PhET dalam pembelajaran fisika dapat meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa dan motivasi belajar mereka. Simulasi menyediakan lingkungan belajar yang interaktif dan menyenangkan, yang membuat mahasiswa lebih aktif dalam mengeksplorasi konsep-konsep fisika yang sulit dijelaskan secara verbal. Sebagai contoh, penelitian oleh Chinaka (2021) menemukan bahwa simulasi PhET dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep gerak peluru sebesar 20% dibandingkan metode pengajaran tradisional. Hal ini diperkuat oleh temuan González-Mena dkk (2024) yang menunjukkan bahwa mahasiswa yang menggunakan simulasi lebih cenderung menunjukkan keterlibatan aktif dalam pembelajaran dan pemahaman yang lebih mendalam terhadap variabel-variabel fisika. Selain itu, penelitian terkait model Problem-Based Learning (PBL) yang dipadukan dengan PhET juga menunjukkan peningkatan hasil belajar (Haetami dkk., 2023), mengindikasikan bahwa kombinasi eksplorasi virtual dan konteks masalah nyata dapat meningkatkan kualitas pembelajaran.

Di sisi lain, metode *drill* telah lama digunakan dalam pendidikan fisika sebagai cara untuk memperkuat keterampilan teknis mahasiswa dalam menyelesaikan masalah matematis. Penelitian oleh Sudirman & Zain (2023b) menemukan bahwa mahasiswa yang secara rutin dilatih dengan metode *drill* menunjukkan peningkatan signifikan dalam ketepatan dan kecepatan menyelesaikan soal-soal fisika. Metode ini sangat cocok untuk mengembangkan kemampuan analisis mahasiswa dan membantu mereka menghadapi tantangan-tantangan praktis di lapangan, seperti aplikasi fisika dalam teknologi pertanian.

Meskipun masing-masing metode memiliki keunggulan tersendiri, terdapat

kesenjangan dalam penelitian terkait efektivitas komparatif antara simulasi PhET dan metode *drill* dalam pembelajaran fisika, khususnya pada materi gerak peluru. Sebagian besar penelitian yang ada hanya mengevaluasi satu metode secara terpisah tanpa membandingkan kedua metode ini secara langsung dalam konteks yang sama. Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa interaktivitas dan faktor desain instruksional berperan penting dalam efektivitas pembelajaran teknologi (Bower dkk., 2015), sehingga perbandingan langsung antar-metode menjadi semakin penting. Hal ini menciptakan *gap* penelitian yang perlu diisi, yaitu bagaimana perbandingan antara simulasi PhET dan metode *drill* dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa pada topik gerak peluru.

Penelitian ini menawarkan kebaruan dalam beberapa aspek. Pertama, penelitian ini merupakan salah satu yang pertama kali secara langsung membandingkan efektivitas metode simulasi PhET dan *drill* dalam pembelajaran fisika di Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, yang fokus pada materi gerak peluru. Konteks ini penting karena penguasaan konsep fisika, terutama gerak peluru, memiliki relevansi langsung dengan aplikasi praktis di bidang THP seperti teknologi mesin pertanian. Kedua, penelitian ini menggunakan desain eksperimental yang melibatkan dua kelompok mahasiswa dari kelas yang berbeda, memberikan peluang untuk mengukur dampak dari kedua metode secara lebih terperinci dengan menggunakan alat evaluasi yang ketat, seperti *pretest-posttest* dan analisis statistik uji-t. Ketiga, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan praktis bagi dosen dalam memilih metode pengajaran yang paling sesuai untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep-konsep fisika yang kritis, khususnya di bidang teknologi hasil pertanian.

Dengan mempertimbangkan keunggulan masing-masing metode dan berdasarkan kesenjangan penelitian yang telah diidentifikasi, penelitian ini mengajukan beberapa hipotesis untuk diuji secara empiris. Hipotesis-hipotesis tersebut dirancang untuk mengevaluasi perbedaan antara hasil

pembelajaran yang diperoleh melalui simulasi PhET dan metode *drill* pada konsep gerak peluru.

Berikut adalah hipotesis yang akan diuji dalam penelitian ini:

- H_{0-1} : Tidak ada perbedaan yang signifikan antara skor *pretest* dan *posttest* pada kelompok yang diajar menggunakan simulasi PhET.
- H_{1-1} : Ada perbedaan yang signifikan antara skor *pretest* dan *posttest* pada kelompok yang diajar menggunakan simulasi PhET.
- H_{0-2} : Tidak ada perbedaan yang signifikan antara skor *pretest* dan *posttest* pada kelompok yang diajar menggunakan metode *drill*.
- H_{1-2} : Ada perbedaan yang signifikan antara skor *pretest* dan *posttest* pada kelompok yang diajar menggunakan metode *drill*.
- H_{0-3} : Tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil *posttest* kelompok yang diajar menggunakan simulasi PhET dan kelompok yang diajar menggunakan metode *drill*.
- H_{1-3} : Ada perbedaan yang signifikan antara hasil *posttest* kelompok yang diajar menggunakan simulasi PhET dan kelompok yang diajar menggunakan metode *drill*.

METODE/EKSPERIMEN

Penelitian ini menggunakan desain kuasi-eksperimen dengan rancangan *pretest-posttest* pada dua kelompok, yaitu kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Desain ini dipilih karena memungkinkan perbandingan dampak dua metode pengajaran (simulasi PhET dan metode *drill*) terhadap hasil belajar mahasiswa tanpa perlu mengacak subjek penelitian secara penuh.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh mahasiswa Program Studi Teknologi Hasil Pertanian (THP). Penentuan sampel menggunakan teknik *purposive sampling* dengan kriteria kelas yang sudah terbentuk dan setara. Dua kelas yang terpilih adalah:

1. Kelompok Eksperimen (R001): Terdiri dari 37 mahasiswa yang menggunakan simulasi PhET.

2. Kelompok Kontrol (R002): Terdiri dari 40 mahasiswa yang menggunakan metode *drill*.

Kedua kelas ini dipilih karena memiliki karakteristik akademis yang relatif homogen berdasarkan rata-rata nilai tes formatif pada materi sebelumnya. Selain itu, dosen pengampu untuk mata kuliah ini adalah peneliti sendiri, sehingga penelitian menjadi lebih efektif.

Instrumen yang digunakan adalah soal tes hasil belajar berbentuk pilihan ganda, yang disusun berdasarkan indikator pembelajaran pada materi gerak peluru. Indikator pembelajaran yang diukur meliputi:

1. Menentukan komponen kecepatan awal (sumbu x dan y) dari gerak peluru.
2. Menghitung waktu yang dibutuhkan benda untuk mencapai titik tertinggi.
3. Menentukan tinggi maksimum yang dapat dicapai benda.
4. Menghitung waktu total gerak peluru di udara.
5. Menentukan jangkauan maksimum (jarak horizontal) yang dicapai benda.
6. Menganalisis pengaruh perubahan sudut tembakan terhadap lintasan gerak peluru.

Untuk memastikan kualitas instrumen, validitas dan reliabilitas soal telah diuji. Hasil uji reliabilitas menggunakan *Cronbach's Alpha* menunjukkan nilai sebesar 0,85, yang menandakan bahwa instrumen memiliki tingkat konsistensi internal yang sangat baik dan dapat dipercaya.

Penelitian dilaksanakan selama dua pertemuan tatap muka. Masing-masing pertemuan berdurasi 100 menit dengan alokasi waktu sebagai berikut:

1. Pertemuan 1:
 - a. *Pretest* (20 menit): Seluruh mahasiswa di kedua kelompok mengerjakan *pretest* untuk mengukur pengetahuan awal.
 - b. Perlakuan (80 menit):
 - o Kelompok Eksperimen (R001): Menggunakan simulasi PhET. Mahasiswa secara interaktif memanipulasi variabel seperti kecepatan awal dan sudut

tembakan, mengamati perubahan lintasan, serta mendiskusikan hasil yang diperoleh.

- o Kelompok Kontrol (R002): Menggunakan metode *drill*. Mahasiswa diberikan serangkaian soal latihan terstruktur yang berfokus pada perhitungan matematis terkait gerak peluru dan mengerjakannya di bawah bimbingan dosen.

2. Pertemuan 2:

- a. Perlakuan (80 menit): Aktivitas serupa dengan pertemuan pertama, namun dengan fokus pada variasi soal dan skenario yang lebih kompleks.
- b. *Posttest* (20 menit): Setelah perlakuan selesai, seluruh mahasiswa di kedua kelompok mengerjakan *posttest* untuk mengukur hasil belajar akhir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

1. Gambaran Umum Data

Berdasarkan hasil pengumpulan data, diperoleh skor *pretest* dan *posttest* pada dua kelompok: kelompok eksperimen (R001) yang menggunakan simulasi PhET dan kelompok kontrol (R002) yang menggunakan metode *drill*. Statistik deskriptif dari data tersebut dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Ringkasan Statistik Deskriptif Skor *Pretest* dan *Posttest*

Kelompok	Tes	Rata-rata	Simpangan Baku
R001 (PhET)	<i>Pretest</i>	50,41	14,12
	<i>Posttest</i>	87,15	6,32
R002 (<i>Drill</i>)	<i>Pretest</i>	49,75	13,62
	<i>Posttest</i>	76,05	7,24

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai rata-rata *pretest* pada kedua kelompok relatif setara (50,41 untuk R001 dan 49,75 untuk R002), yang mengindikasikan bahwa kemampuan awal mahasiswa sebelum perlakuan tidak memiliki perbedaan signifikan. Setelah perlakuan, terjadi peningkatan nilai rata-rata

pada kedua kelompok. Rata-rata skor *posttest* kelompok R001 meningkat menjadi 87,15, sedangkan kelompok R002 meningkat menjadi 76,05.

2. Hasil Uji Hipotesis

a) Uji-t Berpasangan (*Paired t-test*)

Untuk menguji hipotesis peningkatan hasil belajar, Uji-t Berpasangan dilakukan untuk setiap kelompok dengan membandingkan skor *pretest* dan *posttest*. Hasil uji ini menunjukkan bahwa pada Kelompok R001 (PhET) terdapat perbedaan yang signifikan antara skor *pretest* dan *posttest* ($p < 0,001$). Demikian pula, pada Kelompok R002 (*Drill*) juga terdapat perbedaan yang signifikan ($p < 0,001$). Hal ini menunjukkan bahwa kedua metode, baik simulasi PhET maupun metode *drill*, efektif dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa.

Tabel 2. Hasil Uji-t Berpasangan Skor *Pretest* dan *Posttest*

Kelompok	t	df	p-value	Keterangan
R001 (PhET)	-12,23	36	<0,001	Ada perbedaan signifikan
R002 (<i>Drill</i>)	-14,56	39	<0,001	Ada perbedaan signifikan

b) Uji-t Independen (*Independent t-test*)

Untuk membandingkan efektivitas kedua metode, Uji-t Independen dilakukan pada skor *posttest* kedua kelompok. Hasil uji ini disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, nilai p yang diperoleh adalah <0,001. Karena nilai ini lebih kecil dari 0,05, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil *posttest* kelompok yang diajar dengan simulasi PhET dan kelompok yang diajar dengan metode *drill*. Rata-rata skor *posttest* Kelompok R001 (87,15) yang lebih tinggi secara signifikan daripada Kelompok R002 (76,05) menunjukkan bahwa simulasi PhET lebih efektif dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang telah dianalisis menunjukkan temuan yang signifikan, yaitu simulasi PhET lebih efektif dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa dibandingkan dengan metode *drill*. Temuan ini didukung oleh uji-t independen yang menunjukkan perbedaan signifikan antara skor *posttest* kelompok yang diajar dengan simulasi PhET (rata-rata 87,15) dan kelompok yang diajar dengan metode *drill* (rata-rata 76,05). Peningkatan hasil belajar yang signifikan pada kedua kelompok mengindikasikan bahwa baik simulasi maupun latihan soal memiliki peran positif dalam pembelajaran. Namun, simulasi PhET memberikan dampak yang secara statistik lebih besar.

Keunggulan simulasi PhET dalam konteks pembelajaran gerak peluru dapat dijelaskan melalui beberapa argumen kunci. Pertama, simulasi ini berlandaskan pada teori pembelajaran konstruktivisme, yang mendorong mahasiswa untuk secara aktif membangun pemahaman mereka sendiri melalui eksplorasi interaktif (Chinaka, 2021). Gerak peluru, sebagai konsep fisika yang melibatkan lintasan dua dimensi yang kompleks, sering kali sulit dipahami secara intuitif melalui rumus matematis saja. Simulasi PhET memungkinkan mahasiswa untuk memvisualisasikan fenomena abstrak ini, mengamati lintasan proyektil secara langsung, dan memisahkan komponen kecepatan vertikal dan horizontal. Selain itu, fitur manipulasi variabel secara *realtime* memungkinkan mahasiswa untuk bereksperimen dengan berbagai kondisi, seperti mengubah sudut elevasi atau kecepatan awal, dan melihat dampak instannya terhadap jangkauan dan tinggi maksimum lintasan. Hal ini memfasilitasi pemahaman hubungan sebab-akibat yang mendalam, sebuah aspek yang sulit dicapai hanya dengan metode latihan soal.

Kedua, meskipun metode *drill* juga menunjukkan peningkatan hasil belajar,

Tabel 3. Hasil Uji-t Independen *Posttest* Antar Kelompok

Uji	t	df	p-value	Rata-rata R001	Rata-rata R002
Uji-t Independen	4,92	75	<0,001	87,15	76,05

pendekatan ini cenderung lebih berfokus pada penguasaan keterampilan matematis dan pengulangan rumus (Sudirman & Zain, 2023b). Fokus ini terkadang membuat mahasiswa hanya menghafal prosedur tanpa memahami konsep fisika yang mendasarinya. Berbeda dengan itu, simulasi PhET menawarkan representasi visual yang konkret, yang terbukti lebih efektif dalam membangun pemahaman jangka panjang dan mentransfer pengetahuan ke masalah di dunia nyata (Mayer, 2020). Keunggulan ini sangat relevan untuk mahasiswa Teknologi Hasil Pertanian, yang perlu memahami aplikasi praktis dari fisika, misalnya dalam mekanisme mesin pertanian atau dinamika pengolahan hasil panen.

Meskipun penelitian ini memberikan temuan yang signifikan, ada beberapa batasan yang dapat menjadi dasar untuk penelitian lanjutan. Penelitian ini dilaksanakan dalam durasi yang singkat (dua pertemuan) dan hanya berfokus pada satu topik fisika. Untuk mengatasi batasan ini, penelitian di masa depan dapat melakukan studi jangka panjang yang mencakup topik fisika yang lebih beragam. Selain itu, instrumen penelitian hanya menggunakan soal pilihan ganda. Metode evaluasi dapat diperkaya dengan menggunakan wawancara, observasi, atau tugas proyek untuk mengukur pemahaman konseptual dan keterampilan pemecahan masalah secara lebih holistik. Terakhir, karena sampel penelitian spesifik pada mahasiswa THP, penelitian lanjutan bisa melibatkan populasi yang lebih luas atau dari program studi yang berbeda untuk menguji apakah temuan ini berlaku secara umum.

PENUTUP

Penelitian ini menunjukkan bahwa baik simulasi PhET maupun metode *drill* memiliki peran positif dan efektif dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa pada materi gerak peluru. Namun, analisis data secara komparatif melalui Uji-t Independen menunjukkan bahwa simulasi PhET terbukti lebih efektif dengan nilai rata-rata *posttest* yang secara signifikan lebih tinggi (87,15) dibandingkan metode *drill*

(76,05). Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan pembelajaran yang interaktif dan visual, seperti simulasi, memberikan dampak yang lebih besar dalam membangun pemahaman konseptual yang mendalam, yang esensial untuk menguasai konsep-konsep fisika yang kompleks. Kesimpulan ini juga mendukung hipotesis penelitian bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dalam hasil belajar antara kedua metode tersebut.

Berdasarkan temuan penelitian ini, disarankan kepada pengajar di program studi yang ada di Teknik Pertanian untuk mempertimbangkan integrasi simulasi PhET sebagai alat bantu pembelajaran yang utama, terutama untuk topik fisika yang bersifat abstrak dan membutuhkan visualisasi seperti gerak peluru. Bagi pengembang materi pembelajaran, hasil ini dapat menjadi dasar untuk mengembangkan kurikulum yang lebih berorientasi pada penggunaan teknologi interaktif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran.

Untuk penelitian lanjutan, terdapat beberapa saran yang dapat diajukan untuk memperkaya hasil dan mengatasi batasan yang ada:

- 1) Durasi Penelitian: Penelitian di masa depan dapat dilakukan dengan durasi yang lebih panjang (misalnya, satu semester penuh) untuk mengamati retensi pengetahuan mahasiswa dalam jangka waktu yang lebih lama.
- 2) Metode Evaluasi: Selain soal pilihan ganda, instrumen evaluasi dapat diperluas dengan menggunakan metode yang lebih bervariasi, seperti wawancara untuk mengukur pemahaman konseptual secara kualitatif, observasi untuk menilai keterlibatan mahasiswa, atau tugas proyek untuk mengukur keterampilan pemecahan masalah yang lebih holistik.
- 3) Populasi dan Konteks: Penelitian serupa dapat diterapkan pada populasi mahasiswa yang lebih luas atau dari program studi lain untuk menguji validitas eksternal dari temuan ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Jambi, serta kepada mahasiswa Teknologi Hasil Pertanian Angkatan 2024, khususnya kelas R001, R002, dan R003, yang telah berpartisipasi dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Bower, M., Dalgarno, B., Kennedy, G. E., Lee, M. J. W., & Kenney, J. (2015). Design and implementation factors in blended synchronous learning environments: Outcomes from a cross-case analysis. *Computers & Education*, *86*, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.03.006>
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction* (Nachdr.). Belknap Press of Harvard University Press.
- 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. <https://doi.org/10.1080/18117295.2021.1969739>
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (Ed.). (2016). *e-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning* (1 ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119239086>
- González-Mena, G., Lozada-Flores, O., Murrieta Caballero, D., Noguez, J., & Escobar-Castillejos, D. (2024). Improving engineering students' understanding of classical physics through visuo-haptic simulations. *Frontiers in Robotics and AI*, *11*, 1305615. <https://doi.org/10.3389/frobt.2024.1305615>
- Gredler, M. E. (2009). *Learning and instruction: Theory into practice* (6th ed). Merrill Pearson.
- Haetami, A., Zulvita, N., Dahlan, Maysara, Marhadi, M. A., & Santoso, T. (2023). Investigation of Problem-Based Learning (PBL) on Physics Education Technology (PhET) Simulation in Improving Student Learning Outcomes in Acid-Base Material. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *9*(11), 9738–9748. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i11.4820>
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The Equivalence of Learning Paths in Early Science Instruction: Effects of Direct Instruction and Discovery Learning. *Psychological Science*, *15*(10), 661–667. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00737.x>
- Liana, L., Kosim, K., & Taufik, M. (2023). Influence of the Problem-Based Learning Model Assisted by PhET Simulations on Students' Problem-Solving Abilities and Mastery of Physics Concepts. *AMPLITUDO: Journal of Science and Technology Inovation*, *2*(2), 101–107. <https://doi.org/10.56566/amplitudo.v2i2.103>
- Pranata, O. D. (2023). Physics Education Technology (PhET) as Confirmatory Tools in Learning Physics. *Jurnal Riset Fisika Edukasi dan Sains*, *10*(1), 29–35. <https://doi.org/10.22202/jrfes.2023.v10i1.6815>
- Smetana, L. K., & Bell, R. L. (2012). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, *34*(9), 1337–1370. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182>
- Sudirman, S., & Zain, Moh. I. (2023a). Application of The Drill Method to Improving Science Learning Outcomes. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *9*(4), 1886–1891. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i4.3649>
- Sudirman, S., & Zain, Moh. I. (2023b). Application of The Drill Method to Improving Science Learning Outcomes. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *9*(4), 1886–1891.

<https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i4.3649>

Zuza, K., Garmendia, M., Barragués, J.-I., & Guisasola, J. (2016). Exercises are problems too: Implications for teaching problem-solving in introductory physics courses. *European Journal of Physics*, 37(5), 055703.
<https://doi.org/10.1088/0143-0807/37/5/055703>