



Pengalaman Mengajar Fisika Modern Menggunakan Simulasi Virtual PhET: Analisis Kinerja Keterampilan Penalaran Mahasiswa

^{1*}Ni Nyoman Sri Putu Verawati, ²Hikmawati, ³Wahyudi, ⁴Saiful Prayogi

^{1,2,3}Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Mataram, Jalan Majapahit No. 62 Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia 83115.

⁴Program Studi Pendidikan Fisika, FSTT, Universitas Pendidikan Mandalika, Jalan Pemuda No. 59A Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia 83115.

*Email Korespondensi: veyra@unram.ac.id

Abstrak

Kesulitan tutor pada semua jenis pembelajaran (tatap muka dan online) adalah ketika mereka mengajarkan konsep abstrak pada perkuliahan fisika modern, terutama untuk meningkatkan keterampilan penalaran mahasiswa. Kami melihat peluang pada kemajuan teknologi digital dapat membantu mengatasi masalah ini. Studi saat ini bertujuan untuk menganalisis kinerja keterampilan penalaran mahasiswa pada mata kuliah fisika modern menggunakan simulasi virtual PhET yang terintegrasi di dalam platform LMS. Penelitian ini menggunakan desain eksperimen, dimana dua kelompok sampel disiapkan (kelompok eksperimen dan kontrol), dan diintervensi dengan dua proses belajar. Kelompok eksperimen dibelajarkan dengan simulasi virtual PhET yang terintegrasi di dalam platform LMS, sementara kelompok kontrol dengan pembelajaran tatap muka dengan metode ekspositori. Kedua kelompok sampel adalah mahasiswa yang menempuh matakuliah fisika modern di FKIP Universitas Mataram. Instrumen yang telah valid dipekerjakan untuk mengukur kinerja keterampilan penalaran mahasiswa sebagai pretest dan posttest. Hasil analisis pretest dan posttest menunjukkan bahwa kinerja keterampilan penalaran mahasiswa pada perkuliahan fisika modern meningkat dengan intervensi pembelajaran menggunakan simulasi virtual PhET terintegrasi dengan platform LMS. Hasil analisis statistik juga menunjukkan keunggulan intervensi pembelajaran menggunakan simulasi virtual PhET terintegrasi dengan platform LMS jika dibandingkan dengan metode ekspositori.

Kata kunci: Keterampilan Penalaran, Simulasi Virtual PhET, Ekspositori, Fisika Modern.

The Experience of Teaching Modern Physics Using PhET Virtual Simulations: An Analysis of Student Reasoning Skill Performance

Abstract

The difficulty for tutors in all types of learning (face-to-face and online) is when they teach abstract concepts in modern physics courses, especially to improve students' reasoning skills. We see an opportunity in advances in digital technology that can help overcome this problem. The current study aims to analyze the performance of students' reasoning skills in modern physics courses using PhET virtual simulations that are integrated into the LMS platform. This study used an experimental design, in which two sample groups were prepared (experimental and control groups), and intervened with two learning processes. The experimental group was taught by PhET virtual simulation integrated into the LMS platform, while the control group was taught by face-to-face learning using the expository method. The two sample groups are students taking modern physics courses at FKIP, University of Mataram. Instruments that have been declared valid are employed to measure the performance of students' reasoning skills as a pretest and posttest. The results of the pretest and posttest analysis show that the performance of students' reasoning skills in modern physics courses increases with learning interventions using PhET virtual simulations integrated with the LMS platform. The results of the statistical analysis shows the advantages of learning interventions using PhET virtual simulations integrated with the LMS platform when compared to the expository method.

Keywords: Reasoning Skills, PhET Virtual Simulation, Expository, Modern Physics.

How to Cite: Verawati, N. N. S. P., Hikmawati, H., Wahyudi, W., & Prayogi, S. (2022). Pengalaman Mengajar Fisika Modern Menggunakan Simulasi Virtual PhET: Analisis Kinerja Keterampilan Penalaran Mahasiswa. *Empiricism Journal*, 3(2), 188–195. <https://doi.org/10.36312/ej.v3i2.997>



<https://doi.org/10.36312/ej.v3i2.997>

Copyright© 2022, Verawati, et al.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) License.



PENDAHULUAN

Teknologi yang berkembang luas saat ini telah merambah pada semua bidang kehidupan manusia, termasuk di bidang pendidikan. Di satu sisi penggunaan teknologi sebagai suatu bentuk agresifitas dalam semua jenis kegiatan manusia di abad ke-21.

Aksesabilitas teknologi memberi dampak pada kemudahan pencarian informasi secara efisien, dan berdampak pada akses sosial secara terbuka dengan orang lain (Ramma et al., 2018). Menanamkan transformasi pembelajaran menggunakan teknologi adalah suatu keniscayaan, apalagi saat ini penggunaannya semakin masif ditengah-tengah Pandemi Covid-19, dimana teknologi bukan lagi sebagai alat bantu sekunder pembelajaran tetapi sudah menjadi kebutuhan primer dalam mengonduksikan materi pembelajaran kepada siswa pada semua level pendidikan, termasuk pendidikan tinggi.

Teknologi dapat menyediakan media yang tepat bagi guru untuk memelihara pemikiran tingkat tinggi pada pelajar, elemen kunci dari keterampilan abad ke-21 (Lewin & McNicol, 2015), melalui kegiatan yang terstruktur dengan hati-hati (Anwaruddin, 2015; Pedrosa-de-Jesus et al., 2014). Namun, sebagian besar waktu penggunaan teknologi dalam pendidikan digunakan sebagai sumber informasi daripada sebagai sarana berbasis proses untuk mengonstruksi pengetahuan (Ramma et al., 2018). Oleh karena itu, untuk membuat perbedaan pada penggunaan teknologi secara luas, maka teknologi harus digunakan sebagai alat pedagogis untuk belajar dan mengajar (Westera, 2015) dan nilai pedagogis dari teknologi tercermin dalam tingkat keterlibatan siswa dan sifat partisipasi mereka dalam pembelajaran (Johnson & Golombek, 2016).

Dalam kerangka pendidikan sains saat ini, pemenuhan gaya baru dalam pembelajaran semakin relevan seiring pesatnya teknologi yang berkembang dan ini mengarah pada sistem virtual (Stoyanov et al., 2022). Konduksi pembelajaran yang memanfaatkannya bukanlah fenomena sementara yang akan berlangsung singkat, melainkan format pendidikan masa kini dan masa depan seperti akan tetap memanfaatkan teknologi (Yu & Jee, 2021). Pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran salah satunya adalah sistem pembelajaran virtual (e-learning). Dalam rancangan pembelajaran di kelas, para penyelenggara pendidikan didorong dan diminta untuk menyiapkan e-learning untuk mengimbangi peminatan pada teknologi ini (Chiasson et al., 2015). Jauh sebelum Pandemi Covid-19, banyak organisasi institusional di seluruh dunia menggunakan sistem online sebagai metode pengajaran alternatif (Sawang et al., 2013). Sejalan dengan perkembangan teknologi pembelajaran online, diperlukan suatu desain instruksional yang efektif secara pedagogis untuk memfasilitasi perairan tujuan pembelajaran, performa hasil belajar yang lebih baik, dan menciptakan lingkungan belajar yang menarik agar siswa tidak kehilangan minat belajar mereka (Chen, 2016).

Interaksi dan keterlibatan mahasiswa dalam pembelajaran masih menjadi masalah (Kong & Mohd Matore, 2022), terutama kaitannya untuk melatih keterampilan penalaran mereka (Ali et al., 2021). Keterampilan penalaran ini menjadi perhatian penting karena sebagai prediktor prestasi siswa di banyak bidang (Berkowitz & Stern, 2018). Penalaran dalam konteks yang lebih familiar disebut sebagai berpikir kritis (Dewey, 1933; Ennis, 2018), ini diidentikkan dengan atribusi kemampuan-kemampuan spesifik seperti analisis, inferensi, evaluasi, dan membuat keputusan (Prayogi et al., 2018; Verawati et al., 2021). Mengakuisisi atribusi pemikiran kritis atau penalaran ini adalah sangat penting pada mahasiswa (Prayogi & Verawati, 2020), hanya saja argumen studi terdahulu (Chan & Nagatomo, 2022) menunjukkan bahwa desain pembelajaran yang efektif untuk melatihkannya masih belum mapan terutama dalam mendukung interaktivitas dan keterlibatan mahasiswa. Selama lebih dari 10 tahun, pengalaman mengajar pada mahasiswa salah satunya adalah terdapat kesulitan dalam cara mengajar fisika pada materi-materi dengan tingkat abstraksi tinggi seperti pada matakuliah fisika modern. Ini berdampak pada rendahnya penalaran siswa, ditambah lagi dengan minat dan motivasi belajar siswa cenderung turun. Namun demikian, kami menaruh rasa optimis dengan masivnya perkembangan teknologi saat ini yang dapat memediasi pengajaran fisika modern dengan cara-cara yang lebih interaktif dan dapat memvisualisasi konsep-konsep abstrak dalam fisika. Beberapa studi terdahulu merekomendasikan penggunaan simulasi virtual dalam pengajaran konsep sains, dan telah berdampak pada penguasaan konsep yang lebih baik, preferensi pada teori sains yang lebih baik, dan peningkatan keterampilan berpikir mahasiswa (El Kharki et al., 2021).

Berkembangnya sistem pembelajaran elektronik (e-learning) membawa perubahan pada pendekatan media yang digunakan, misalnya pemanfaatan sistem virtual, dimana visualisasi materi dapat menggunakan virtual reality (VR), augmented reality (AR), simulasi virtual, video interaktif, dan banyak lagi yang lainnya (El Kharki et al., 2021; Restivo &

Cardoso, 2013). Perhatian kami pada studi saat ini adalah pada simulasi virtual, dimana hasil studi oleh (Hassan et al., 2013) menunjukkan penerimaan siswa sangat baik pada pengaplikasiannya di kelas, dan berdampak positif pada tiga ranah belajar siswa (pengetahuan, keterampilan, dan sikap), dan secara meyakinkan berdampak pada kinerja akademik siswa yang lebih baik (Diwakar et al., 2015). Salah satu kelebihan simulasi virtual adalah dapat membantu mengatasi keterbatasan fisik dan juga pikiran dalam menjangkau konsep-konsep yang bersifat abstrak (El Kharki et al., 2020). Simulasi virtual saat ini telah berkembang, pada ruang dan desain eksperimen yang disiapkan siswa dapat memanipulasi parameter eksperimen sesuai kebutuhan mereka (de la Torre et al., 2015). Dalam sistem e-learning di universitas ini diintegrasikan dengan Learning Management System (LMS) di universitas dan penggunaannya tergantung pada izin akses dari pendesainnya (ada yang dapat diakses bebas atau sebaliknya), mereka adalah para dosen sebagai pengendali penuh sistem pembelajaran melalui LMS.

Berkaitan dengan studi saat ini, kami mengintegrasikan simulasi virtual PhET dengan platform LMS dan mengintervensinya pada perkuliahan fisika modern. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kinerja keterampilan penalaran mahasiswa. Literatur tentang penggunaan teknologi dalam pendidikan dan pembelajaran sebagian besar diarahkan pada domain kognitif, seperti pengetahuan tentang teknologi, konten, pedagogis, konten-pedagogis, konten teknologi, pedagogis-teknologi, dan pengetahuan teknologi (Ramma et al., 2018). Selain itu, studi lain menyoroti aspek sikap dalam penggunaannya (Näykki et al., 2019). Namun, *-in our best knowledge-*, pemanfaatan teknologi (simulasi virtual) dalam perkuliahan fisika modern untuk meningkatkan kinerja penalaran mahasiswa belum diteliti secara memadai.

METODE

Desain Penelitian

Studi ini merupakan penelitian eksperimen dengan *the randomized pretest-posttest control design* (Fraenkel et al., 2012). Melalui skema randomisasi, dua kelompok sampel telah ditentukan. Mereka diberi perlakuan sebagai kelompok eksperimen (E) dan kontrol (C). Kelompok eksperimen diberi perlakuan pembelajaran menggunakan simulasi virtual PhET dalam platform LMS (e-learning), sedangkan kelompok kontrol dengan pembelajaran tatap muka menggunakan metode ekspositori. Sebelum perlakuan, kedua kelompok sampel diobservasi keterampilan penalaran mereka sebagai pretest (O_1) dan posttest (O_2). Secara sederhana, rancangan penelitian sebagai berikut.

Kelompok Eksperimen	R	O_1	E	O_2

Kelompok Kontrol	R	O_1	C	O_1

Pembelajaran dilakukan pada kedua kelompok sampel pada materi yang sama pada matakuliah fisika modern, yaitu efek fotolistrik, teori kuantum cahaya, dualitas partikel gelombang, difraksi sinar-x, efek compton, produksi pasangan, foton dan gravitas. Materi ini dibelajarkan pada mahasiswa STEM dalam empat kali pertemuan.

Partisipan (Sampel Penelitian)

Sampel penelitian adalah mahasiswa di Universitas Mataram – Indonesia. Jumlah mahasiswa sebagai kelompok eksperimen dan kontrol adalah sama, masing-masing sebanyak 27 mahasiswa. Rangkuman demografi sampel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Demografi partisipan/sampel penelitian

Karakteristik		Eksperimen, n = 27		Kontrol, n = 27	
		n	%	n	%
Gender	Female	23	85%	17	63
	Male	4	15%	10	37
Usia (tahun)	< 18	1	4%	0	0
	18 – 19	24	89%	23	85
	> 19	2	7%	4	15

Instrumen Penelitian dan Analisis Data

Data keterampilan penalaran (KP) mahasiswa mengikuti indikator: penalaran-analisis (PA), penalaran-inferensi (PI), penalaran-evaluasi (PE), dan penalaran-pembuatan keputusan (PP). Data keterampilan penalaran dikumpulkan menggunakan instrumen essay tes. Tiap indikator diurai dalam dua item sehingga jumlah item test keterampilan penalaran adalah 8 soal. Skor tertinggi yang ditetapkan tiap item sebagai keterampilan penalaran maksimum adalah +4 dan terendah adalah 0. Berdasarkan kriteria penskoran ini, selanjutnya dikonversi ke dalam suatu interval interval (Prayogi et al., 2018), dan kategori interval seperti dirangkum pada Tabel 2. Keterampilan penalaran diukur berdasarkan parameter indikator (KPi) dan individu (KPs).

Tabel 2. Kriteria keterampilan penalaran berdasarkan parameter KPi dan KPs

Interval skor KP	Interval skor KPi	Interval skor KPs	Kategori
KP > 25.60	KPi > 3.21	KPs > 25.60	Sangat baik
19.20 < KP ≤ 25.60	2.40 < KPi ≤ 3.21	19.20 < KPs ≤ 25.60	Baik
12.80 < KP ≤ 19.20	1.60 < KPi ≤ 2.40	12.80 < KPs ≤ 19.20	Cukup
6.41 < KP ≤ 12.80	0.80 < KPi ≤ 1.60	6.41 < KPs ≤ 12.80	Kurang
KP ≤ 6.41	KPi ≤ 0.80	KPs ≤ 6.41	Buruk

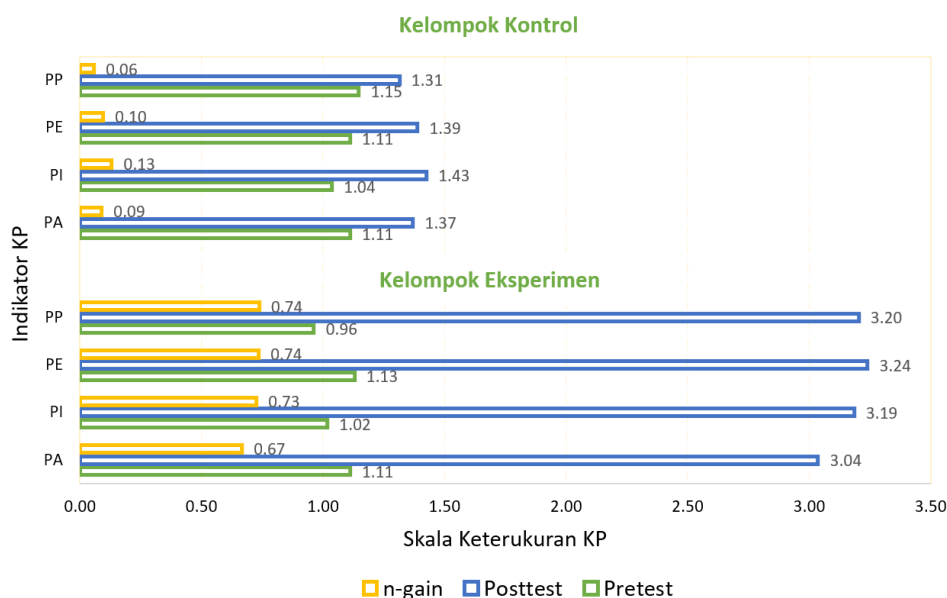
Analisis data KP secara deskriptif mengacu pada kriteria pada Tabel 2, dan peningkatan skor keterampilan penalaran (n-gain) mengacu pada formulasi Hake (Hake, 1999). Selanjutnya, analisis statistik (uji beda antar kelompok sampel) dilakukan untuk mengetahui perbedaan peningkatan skor keterampilan penalaran pada kedua sampel ($p < .05$). Ini didahului oleh uji normalitas ($p > .05$) menggunakan uji Shapiro Wilk (karena anggota kelompok sampel < 50). Analisis statistik menggunakan alat bantu SPSS 25.0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangkuman hasil analisis deskriptif keterampilan penalaran pada mahasiswa disajikan pada Tabel 3, ini merujuk pada kriteria keterampilan penalaran tiap kelompok perlakuan berdasarkan parameter dari empat indikator (KPi). Visualisasinya disajikan pada Gambar 1.

Tabel 3. Hasil pengukuran tiap indikator keterampilan penalaran (KPi)

Kelompok	N	Parameter	Indikator				Rata-rata KPi
			PA	PI	PE	PP	
Eksperimen	27	Pretest	1.11	1.02	1.13	0.96	1.06
		Posttest	3.04	3.19	3.24	3.20	3.17
		N-gain	0.67	0.73	0.74	0.74	0.72
Kontrol	27	Pretest	1.11	1.04	1.11	1.15	1.10
		Posttest	1.37	1.43	1.39	1.31	1.38
		N-gain	0.09	0.13	0.10	0.06	0.09



Gambar 1. Visualisasi hasil pengukuran KPi

Hasil pada Tabel 3 dan Gambar 1 menunjukkan peningkatan skor pretest ke posttest menurut kriteria KPi untuk kedua kelompok perlakuan. Untuk kelompok eksperimen, peningkatan tertinggi ditemukan pada indikator PE dan PP diikuti oleh indikator PI dan PA, rata-rata peningkatan skor KPi untuk kelas eksperimen sebesar 0.72 dengan kriteria tinggi. Peningkatan KPi pada kriteria rendah ditemukan pada kelompok kontrol dengan n-gain sebesar 0.09. Selanjutnya, kinerja keterampilan penalaran tiap kelompok perlakuan berdasarkan parameter KPs dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Keterampilan penalaran mahasiswa berdasarkan parameter KPs

Kelompok	N	Skor KPs dan kategori				n-gain	Kategori
		Pretest	Kategori	Posttest	Kategori		
Eksperimen	27	8.44	Kurang	25.33	Baik	0.72	Tinggi
Kontrol	27	8.81	Kurang	11.00	Kurang	0.09	Rendah

Rangkuman hasil KPs pada Tabel 4 mengindikasikan performa keterampilan penalaran mahasiswa yang baik pada kelompok eksperimen, sebaliknya pada kelompok kontrol KPs berkategori kurang pada pre dan posttest. Hasil telah sangat jelas menunjukkan perbedaan performa keterampilan penalaran mahasiswa pada kedua kelompok perlakuan. Berdasarkan parameter KPs pada pretest-posttest, keterampilan penalaran siswa pada meningkat dari 'kurang' ke 'baik' dan ini berbeda dari yang ditemukan pada kelompok kontrol mereka tetap berada pada kategori 'kurang.' Selanjutnya, perbedaan peningkatan skor keterampilan penalaran antar kedua kelompok diuji secara statistik, ini berdasarkan asumsi normalitas pada kedua kelompok. Rangkuman hasil uji normalitas disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji normalitas data, $p > 0.05$

Kelompok	Shapiro-Wilk			Distribusi data
	Statistic	df	Sig.	
Eksperimen	0.947	27	0.184	Berdistribusi normal
Kontrol	0.888	27	0.007	Tidak berdistribusi normal

Salah satu dari kedua kelompok data yang akan dibandingkan tidak berdistrusi normal, oleh karena itu uji beda dua kelompok data menggunakan uji non parametrik (Mann Whitney test). Hasilnya tersaji pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil uji Mann Whitney, $p < 0.05$

Kelompok	n	Mean Rank	Sum of Ranks	Mann-Whitney U	Sig. (2-tailed)
Eksperimen	27	41.00	1107.00	0.000	0.000
Kontrol	27	14.00	378.00		
Total	54				

Hasil Mann Whitney test menunjukkan sig. $< p$ (0.05), artinya terdapat perbedaan yang signifikan keterampilan penalaran mahasiswa antara kedua kelompok perlakuan. Mengonfirmasi hasil analisis ini, secara eksplisit telah terbukti bahwa keterampilan penalaran mahasiswa yang diberi perlakuan pembelajaran menggunakan simulasi virtual PhET dalam platform LMS (e-learning) lebih baik dari pada pembelajaran tatap muka dengan metode ekspositori. Hasil studi ini sesuai dengan apa yang ditemukan pada studi sebelumnya, bahwa simulasi virtual dapat meningkatkan keterampilan berpikir mahasiswa (El Kharki et al., 2021). Dalam studi lain ditemukan bahwa computer-based simulation berdampak positif terhadap kemampuan penalaran siswa (Havola et al., 2021).

Simulasi virtual memungkinkan pebelajaran membangun representasi visual selama proses pembelajaran, dan ini berdampak pada penalaran kritis mereka (Yoon et al., 2021). Temuan studi ini telah meyakinkan bahwa selain mendukung interaktivitas pembelajaran, simulasi virtual berdampak pada peningkatan performa penalaran sehingga ini dapat dijadikan sebagai alat kognitif dalam konteks pembelajaran yang lebih luas. Visualisasi konsep atau teori yang abstrak dapat memotivasi mahasiswa dalam belajar dan keterampilan berpikir tingkat tinggi mereka dapat berkembang (Fraile-Fernández et al., 2021). Walaupun dalam konteks studi saat ini kami tidak mengamati secara eksplisit terkait motivasi belajar mahasiswa dengan pengaplikasian simulasi virtual ini, tapi nyatanya penerimaan atau respon mahasiswa sangat baik yang ditandai dengan interaktivitas yang terbangun dalam pembelajaran. Ini juga ditemukan pada studi sebelumnya (Hassan et al., 2013) bahwa penerimaan siswa sangat baik pada pengaplikasian simulasi virtual di kelas, dan berdampak positif pada ranah belajar pada aspek pengetahuan, keterampilan, dan sikap.

Studi ini telah memenuhi ekspektasi pada pemenuhan aksesibilitas mahasiswa dalam memahami konsep fisika modern yang tidak terbatas pada ruang dan waktu. Jika dibandingkan dengan pembelajaran tatap muka yang mengandalkan metode ekspositori, maka performa penalaran mahasiswa lebih unggul pada pembelajaran yang menggunakan virtual simulation. Kelebihannya sangat jelas, simulasi virtual membantu mengatasi keterbatasan fisik dan pikiran dalam menjangkau konsep abstrak, dan membantu mengatasi masalah lain dalam pembelajaran terkait aksesibilitas (El Kharki et al., 2020). Akhirnya, untuk proses pembelajaran berkelanjutan kami menyarankan penggunaan virtual simulation khususnya untuk mengajarkan konsep-konsep abstrak dalam sains, dan tentunya ini membutuhkan profesionalisme dan upaya serius dari pemangku kepentingan untuk mencapai tujuan dan hasil belajar yang lebih baik.

KESIMPULAN

Hasil studi ini menunjukkan bahwa performa atau kinerja keterampilan penalaran mahasiswa pada mata kuliah fisika modern dapat ditingkatkan dengan pembelajaran menggunakan PhET virtual simulation di dalam platform LMS. Analisis deskriptif dan statistik terhadap performa keterampilan penalaran mahasiswa menunjukkan keunggulan pembelajaran menggunakan PhET virtual simulation jika dibandingkan dengan pembelajaran tatap muka yang mengandalkan metode ekspositori. Kami menyarankan penggunaan PhET virtual simulation di dalam platform LMS untuk mengajarkan konsep-konsep abstrak yang tidak terbatas pada materi fisika modern tetapi dalam pembelajaran sains secara luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, R., Bhadra, J., Siby, N., Ahmad, Z., & Al-Thani, N. J. (2021). A STEM Model to Engage Students in Sustainable Science Education through Sports: A Case Study in Qatar. *Sustainability*, 13(6), 3483. <https://doi.org/10.3390/su13063483>

- Anwaruddin, S. M. (2015). ICTs in Language and Literacy Education in Bangladesh: A Critical Review. *Current Issues in Education*, 18(1).
- Berkowitz, M., & Stern, E. (2018). Which Cognitive Abilities Make the Difference? Predicting Academic Achievements in Advanced STEM Studies. *Journal of Intelligence*, 6(4), 48. <https://doi.org/10.3390/jintelligence6040048>
- Chan, M.-N., & Nagatomo, D. (2022). Study of STEM for Sustainability in Design Education: Framework for Student Learning and Outcomes with Design for a Disaster Project. *Sustainability*, 14(1), 312. <https://doi.org/10.3390/su14010312>
- Chen, L.-L. (2016). A Model for Effective Online Instructional Design. *Literacy Information and Computer Education Journal (LICE)*, 6(2), 2303–2308.
- Chiasson, K., Terras, K., & Smart, K. (2015). Faculty Perceptions Of Moving A Face-To-Face Course To Online Instruction. *Journal of College Teaching & Learning (TLC)*, 12(3), 321–240. <https://doi.org/10.19030/tlc.v12i3.9315>
- de la Torre, L., Guinaldo, M., Heradio, R., & Dormido, S. (2015). The Ball and Beam System: A Case Study of Virtual and Remote Lab Enhancement With Moodle. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11(4), 934–945. <https://doi.org/10.1109/TII.2015.2443721>
- Dewey, J. (1933). *How We Think: A Restatement of the Relation of Reflective Thinking to the Educative Process*. D.C. Heath & Co Publishers.
- Diwakar, S., Kumar, D., Radhamani, R., Nizar, N., Nair, B., Sasidharakurup, H., & Achuthan, K. (2015). Role of ICT-enabled virtual laboratories in biotechnology education: Case studies on blended and remote learning. *2015 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, 915–921. <https://doi.org/10.1109/ICL.2015.7318149>
- El Kharki, K., Bensamka, F., & Berrada, K. (2020). Enhancing Practical Work in Physics Using Virtual Javascript Simulation and LMS Platform. In D. Burgos (Ed.), *Radical Solutions and eLearning* (pp. 131–146). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4952-6_9
- El Kharki, K., Berrada, K., & Burgos, D. (2021). Design and Implementation of a Virtual Laboratory for Physics Subjects in Moroccan Universities. *Sustainability*, 13(7), 3711. <https://doi.org/10.3390/su13073711>
- Ennis, R. (2018). Critical Thinking Across the Curriculum: A Vision. *Topoi*, 37(1), 165–184.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to design and evaluate research* (8th ed.). Mc Graw Hill.
- Fraile-Fernández, F. J., Martínez-García, R., & Castejón-Limas, M. (2021). Constructionist Learning Tool for Acquiring Skills in Understanding Standardised Engineering Drawings of Mechanical Assemblies in Mobile Devices. *Sustainability*, 13(6), 3305. <https://doi.org/10.3390/su13063305>
- Hake, R., R. (1999). *Analyzing change/gain scores*. Indiana University: Woodland Hills, CA - USA.
- Hassan, H., Martinez-Rubio, J.-M., Perles, A., Capella, J.-V., Dominguez, C., & Albaladejo, J. (2013). Smartphone-Based Industrial Informatics Projects and Laboratories. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 9(1), 557–566. <https://doi.org/10.1109/TII.2012.2185806>
- Havola, S., Haavisto, E., Mäkinen, H., Engblom, J., & Koivisto, J.-M. (2021). The Effects of Computer-Based Simulation Game and Virtual Reality Simulation in Nursing Students' Self-evaluated Clinical Reasoning Skills. *Computers, Informatics, Nursing: CIN*, 39(11), 725–735. <https://doi.org/10.1097/CIN.0000000000000748>
- Johnson, K. E., & Golombek, P. R. (2016). *Mindful L2 Teacher Education: A Sociocultural Perspective on Cultivating Teachers' Professional Development* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315641447>
- Kong, S. F., & Mohd Matore, M. E. E. (2022). Can a Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Approach Enhance Students' Mathematics Performance? *Sustainability*, 14(1), 379. <https://doi.org/10.3390/su14010379>
- Lewin, C., & McNicol, S. (2015). Supporting the Development of 21st Century Skills through ICT. *Universität Potsdam*, 7, 181–198.
- Näykki, P., Laru, J., Vuopala, E., Siklander, P., & Järvelä, S. (2019). Affective Learning in Digital Education—Case Studies of Social Networking Systems, Games for Learning,

- and Digital Fabrication. *Frontiers in Education*, 4. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/educ.2019.00128>
- Pedrosa-de-Jesus, H., Moreira, A., Lopes, B., & Watts, M. (2014). So much more than just a list: Exploring the nature of critical questioning in undergraduate sciences. *Research in Science & Technological Education*, 32(2), 115–134. <https://doi.org/10.1080/02635143.2014.902811>
- Prayogi, S., & Verawati, N. N. S. P. (2020). The Effect of Conflict Cognitive Strategy in Inquiry-based Learning on Preservice Teachers' Critical Thinking Ability. *Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies (ECPS Journal)*, 0(21), 27–41. <https://doi.org/10.7358/ecps-2020-021-pray>
- Prayogi, S., Yuanita, L., & Wasis. (2018). Critical Inquiry Based Learning: A Model of Learning to Promote Critical Thinking Among Prospective Teachers of Physic. *Journal of Turkish Science Education*, 15(1), 43–56.
- Ramma, Y., Bholoa, A., Watts, M., & Nadal, P. S. (2018). Teaching and learning physics using technology: Making a case for the affective domain. *Education Inquiry*, 9(2), 210–236. <https://doi.org/10.1080/20004508.2017.1343606>
- Restivo, M. T., & Cardoso, A. (2013). Exploring Online Experimentation. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (IJOE)*, 9(S8), 4. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v9iS8.3448>
- Sawang, S., Newton, C., & Jamieson, K. (2013). Increasing learners' satisfaction/intention to adopt more e-learning. *Education + Training*, 55(1), 83–105. <https://doi.org/10.1108/00400911311295031>
- Stoyanov, S., Glushkova, T., Tabakova-Komsalova, V., Stoyanova-Doycheva, A., Ivanova, V., & Doukovska, L. (2022). Integration of STEM Centers in a Virtual Education Space. *Mathematics*, 10(5), 744. <https://doi.org/10.3390/math10050744>
- Verawati, N. N. S. P., Hikmawati, H., Prayogi, S., & Bilad, M. R. (2021). Reflective Practices in Inquiry Learning: Its Effectiveness in Training Pre-Service Teachers' Critical Thinking Viewed from Cognitive Styles. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 10(4), 505–514. <https://doi.org/10.15294/jpii.v10i4.31814>
- Westera, W. (2015). Reframing the Role of Educational Media Technologies. *Quarterly Review of Distance Education*, 16(2), 19–32.
- Yoon, H.-G., Kim, M., & Lee, E. A. (2021). Visual Representation Construction for Collective Reasoning in Elementary Science Classrooms. *Education Sciences*, 11(5), 246. <https://doi.org/10.3390/educsci11050246>
- Yu, J., & Jee, Y. (2021). Analysis of Online Classes in Physical Education during the COVID-19 Pandemic. *Education Sciences*, 11(1), 3. <https://doi.org/10.3390/educsci11010003>