

Meningkatkan Kemampuan Penalaran Mahasiswa STEM pada Mata Kuliah Fisika Modern melalui Penggunaan Simulasi Virtual pada Platform LMS

Ni Nyoman Sri Putu Verawati^{1*}, Hikmawati¹, Saiful Prayogi²

¹Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Mataram, Mataram - Indonesia

²Program Studi Pendidikan Fisika FSTT Universitas Pendidikan Mandalika, Mataram - Indonesia

*Corresponding Author: veyra@unram.ac.id

Article History

Received : March 27th, 2023

Revised : April 28th, 2023

Accepted : May 19th, 2023

Abstract: Dosen mungkin menghadapi tantangan ketika mengajar konsep abstrak dalam kuliah fisika modern, yang dapat menghambat upaya mereka untuk meningkatkan kemampuan penalaran mahasiswa, baik melalui pengajaran tatap muka atau online. Namun, kemajuan teknologi digital menawarkan solusi yang menjanjikan untuk masalah ini. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja penalaran mahasiswa STEM pada mata kuliah fisika modern dengan menggunakan simulasi virtual pada platform Learning Management System (LMS). Eksperimen menyertakan satu kelompok kontrol yang menerima instruksi tatap muka dengan menggunakan metode ekspositori. Mahasiswa STEM di Universitas Mataram secara acak ditugaskan ke kelompok eksperimen atau kontrol. Kemampuan penalaran dinilai menggunakan instrumen tes, dan hasilnya dianalisis secara deskriptif dan statistik. Temuan menunjukkan bahwa pembelajaran melalui simulasi virtual pada platform LMS dapat secara efektif meningkatkan kinerja penalaran mahasiswa STEM dalam kursus fisika modern. Secara khusus, analisis deskriptif dan statistik mengungkapkan bahwa pendekatan ini lebih unggul daripada instruksi tatap muka tradisional yang mengandalkan metode ekspositori. Kami merekomendasikan penggunaan simulasi virtual pada platform LMS untuk mengajarkan konsep abstrak tidak hanya dalam fisika modern tetapi juga di berbagai disiplin ilmu.

Keywords: fisika modern, kemampuan penalaran, mahasiswa STEM, Simulasi virtual.

PENDAHULUAN

Teknologi telah merambah semua bidang kehidupan manusia, termasuk di bidang pendidikan. Penggunaan teknologi sebagai bentuk agresifitas dalam semua jenis kegiatan di abad ke 21. Perangkat tablet seluler dan ponsel cerdas memberi akses penggunaanya secara berkelanjutan dimana saja dan kapan saja. Aksesabilitas memberi dampak 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 sebagai elemen kunci dari keterampilan abad ke-21 (Lewin & McNicol, 2015), melalui serangkaian kegiatan yang bersifat terstruktur (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 suatu 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 STEM, 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 peraih 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 STEM dalam pembelajaran masih menjadi masalah (Kong & Mohd Matore, 2022), terutama kaitannya untuk melatih penalaran mereka (Ali et al., 2021). Kemampuan penalaran ini menjadi perhatian penting karena sebagai prediktor prestasi mahasiswa di bidang STEM (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 STEM.

Merujuk pengalaman mengajar kami pada perkuliahan fisika selama lebih dari 10 tahun, terdapat kesulitan dalam cara mengajar fisika pada materi-materi dengan tingkat abstraksi tinggi seperti pada matakuliah fisika modern. Ini berdampak pada rendahnya penalaran mahasiswa, ditambah lagi dengan minat dan motivasi belajar mahasiswa cenderung turun. Sejauh pengalaman kami, dosen menghadapi

beberapa kesulitan saat mengajarkan konsep abstrak di perkuliahan fisika modern, antara lain:

- (a) Kurangnya keterlibatan mahasiswa: Konsep abstrak dalam kuliah fisika modern dapat menjadi tantangan bagi mahasiswa untuk dipahami dan mungkin memerlukan tingkat keterlibatan yang lebih tinggi daripada matakuliah lain. Hal ini dapat menyebabkan kurangnya minat dan motivasi di kalangan mahasiswa, sehingga sulit bagi dosen untuk menyampaikan konsep yang kompleks secara efektif.
- (b) Pengetahuan awal yang terbatas: Perkuliahan fisika modern seringkali melibatkan konsep matematika kompleks yang membutuhkan dasar yang kuat dalam pengetahuan sebelumnya. Namun, banyak mahasiswa mungkin tidak memiliki latar belakang pengetahuan yang diperlukan, sehingga menyulitkan dosen untuk mengajarkan konsep-konsep ini secara efektif.
- (c) Waktu terbatas: Perkuliahan fisika modern mungkin memiliki banyak materi untuk dibahas dalam waktu terbatas. Hal ini dapat menyulitkan dosen untuk memberikan kedalaman instruksi dan praktik yang diperlukan bagi mahasiswa untuk menguasai konsep abstrak secara menyeluruh.
- (d) Kurangnya akses ke sumber daya: Dosen mungkin memiliki akses terbatas ke sumber daya seperti peralatan laboratorium atau bahan ajar lainnya yang dapat membantu dalam mengajarkan konsep abstrak dalam kuliah fisika modern. Hal ini dapat membatasi keefektifan pengajaran mereka dan menghambat pembelajaran mahasiswa.

Namun demikian, kami menaruh rasa optimis dengan masifnya perkembangan teknologi saat ini yang dapat memediasi pengajaran fisika moderen 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).

Pengajaran dengan sistem e-learning membawa mahasiswa pada lingkungan virtual, visualisasi materi pada banyak aspek pengajaran ditemukan dalam banyak format misalnya augmented reality, gamification, virtual and remote laboratory, virtual reality, video

interaktif, dan simulasi virtual (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). Kelebihannya sangat jelas, simulasi virtual membantu mengatasi keterbatasan fisik dan pikiran dalam menjangkau konsep abstrak, dan membantu mengatasi masalah lain dalam pembelajaran terkait aksesabilitas (El Kharki et al., 2020).

Simulasi virtual saat ini telah berkembang, pada ruang dan desain eksperimen yang disiapkan pebelajar 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 dosen sebagai pengendali penuh sistem pembelajaran melalui LMS. Kaitannya dalam studi saat ini, kami mengintegrasikan simulasi virtual dengan LMS pada perkuliahan fisika modern untuk meningkatkan kemampuan penalaran mahasiswa STEM.

Literatur tentang penggunaan teknologi dalam pendidikan dan pembelajaran sebagian besar diarahkan pada domain kognitif, seperti pengetahuan-pengetahuan; 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 membangun kemampuan penalaran mahasiswa STEM belum diteliti secara memadai. Untuk sistem pembelajaran jarak jauh, universitas telah membangun infrastruktur sistem pembelajaran dalam bingkai LMS. Studi saat ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja penalaran mahasiswa STEM pada mata kuliah fisika modern dengan menggunakan simulasi virtual pada platform Learning Management System (LMS).

METODE

Desain Studi

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 dalam platform LMS (e-learning), sedangkan kelompok kontrol dengan pembelajaran tatap muka menggunakan metode ekspositori. Sebelum perlakuan, kedua kelompok sampel diobservasi kemampuan 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_2

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.

Sampel

Sampel penelitian adalah mahasiswa STEM 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 sampel penelitian

Characteristic		Kelompok Eksperimen, n = 27		Kelompok Kontrol, n = 27	
		Kuantitas	%	Kuantitas	%
Jenis kelamin	Perempuan	23	85%	17	63
	Laki-laki	4	15%	10	37
Usia (tahun)	< 18 tahun	1	4%	0	0
	18 s/d 19 tahun	24	89%	23	85
	> 19 tahun	2	7%	4	15

Instrumen Penelitian dan Analisis

Data kemampuan penalaran (KP) mahasiswa STEM menurut indikator; analisis (ANA), inferensi (INF), evaluation (EVA), dan membuat keputusan (MKA) dikumpulkan menggunakan instrumen tes esai. Tiap indikator diurai dalam dua item sehingga jumlah item test kemampuan penalaran adalah 8 soal. Skor tertinggi yang ditetapkan tiap item sebagai kemampuan penalaran maksimum adalah +4 (deskriptor: jawabannya benar, dan argumen

yang kuat mendukung setiap indikator penalaran dengan fakta, konsep, dan hukum), dan terendah adalah 0 (tidak ada jawaban yang diberikan). Berdasarkan kriteria penskoran ini, selanjutnya dikonversi ke dalam interval persamaan (Prayogi et al., 2018), dan kategori interval dari kemampuan penalaran seperti dirangkum pada Tabel 2. Kemampuan penalaran diukur berdasarkan parameter indikator (P-Inr) dan parameter individu (P-Ind).

Table 2. Kriteria kemampuan penalaran berdasarkan parameter indikator (P-Inr) dan parameter individu (P-Ind).

No	Interval skor P-Inr	Interval skor P-Ind	Kriteria
1	$P\text{-Inr} > 3.21$	$P\text{-Ind} > 25.60$	Sangat baik
2	$2.40 < P\text{-Inr} \leq 3.21$	$19.20 < P\text{-Ind} \leq 25.60$	Baik
3	$1.60 < P\text{-Inr} \leq 2.40$	$12.80 < P\text{-Ind} \leq 19.20$	Cukup
4	$0.80 < P\text{-Inr} \leq 1.60$	$6.41 < P\text{-Ind} \leq 12.80$	Kurang
5	$P\text{-Inr} \leq 0.80$	$P\text{-Ind} \leq 6.41$	Buruk

Analisis data KP secara deskriptif mengacu pada kriteria pada Tabel 2, dan peningkatan skor kemampuan penalaran (n-gain) mengacu pada formulasi Hake (1999). Selanjutnya, analisis statistik (uji beda antar kelompok sampel) dilakukan untuk mengetahui perbedaan peningkatan skor kemampuan 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 kemampuan penalaran pada mahasiswa STEM disajikan pada Tabel 3, ini merujuk pada kriteria kemampuan penalaran tiap kelompok perlakuan berdasarkan parameter dari empat indikator (P-Inr).

Tabel 3. Hasil pengukuran tiap indikator kemampuan penalaran (P-Inr)

Kelompok	skor	Indikator kemampuan penalaran (P-Inr)				Rata-rata P-Inr
		ANA	INF	EVA	MKA	
Eksperimen	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	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

Hasil pada Tabel 3 menunjukkan peningkatan skor pretest ke posttest menurut kriteria P-Inr untuk kedua kelompok perlakuan. Untuk kelompok eksperimen, peningkatan

tertinggi ditemukan pada indikator EVA dan MKA diikuti oleh indikator INF dan ANA, rata-rata peningkatan skor RSi untuk kelas eksperimen sebesar 0.72 dengan kriteria tinggi.

Peningkatan P-Inr pada kriteria rendah ditemukan pada kelompok kontrol dengan n-gain sebesar 0.09. Selanjutnya, performa kemampuan

penalaran tiap kelompok perlakuan berdasarkan parameter P-Ind dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengukuran kemampuan penalaran mahasiswa STEM berdasarkan parameter P-Ind

Kelompok	Skor kemampuan penalaran dan kriteria				n-gain	Kriteria
	Pretest	Kriteria	Posttest	Kriteria		
Eksperimen	8.44	Kurang	25.33	Baik	0.72	Tinggi
Kontrol	8.81	Kurang	11.00	Kurang	0.09	Rendah

Rangkuman hasil P-Ind pada Tabel 4 mengindikasikan performa kemampuan penalaran mahasiswa STEM yang baik pada kelompok eksperimen, sebaliknya pada kelompok kontrol RSs berkategori kurang pada pre dan posttest. Berdasarkan parameter P-Inr pada pretest-posttest, kemampuan penalaran mahasiswa meningkat dari ‘kurang’ ke ‘baik’ dan

ini berbeda dari yang ditemukan pada kelompok kontrol mereka tetap berada pada kategori ‘kurang.’ Selanjutnya, perbedaan peningkatan skor kemampuan 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 test, $p < 0.05$

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	55.00	1485.00		

Hasil Mann Whitney test menunjukkan sig. $< p$ (0.05), artinya terdapat perbedaan yang signifikan kemampuan penalaran mahasiswa STEM antara kedua kelompok perlakuan. Mengonfirmasi hasil analisis ini, secara eksplisit telah terbukti bahwa kemampuan penalaran mahasiswa STEM yang diberi perlakuan pembelajaran menggunakan simulasi virtual 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 STEM sehingga ini dapat dijadikan sebagai alat kognitif dalam konteks pembelajaran yang lebih luas. Visualisasi konsep atau teori yang abstrak dapat memotivasi mahasiswa STEM dalam belajar dan keterampilan berpikir tingkat tinggi mereka dapat berkembang (Fraile-Fernández et al., 2021). Walaupun dalam konteks studi saat ini kami tidak mengobservasi secara ekplisit terkait motivasi belajar mahasiswa STEM dengan pengaplikasian simulasi virtual ini, tapi nyatanya penerimaan atau respon

mahasiswa STEM 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 STEM lebih unggul pada pembelajaran yang menggunakan simulasi virtual. 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 simulasi virtual 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 telah jelas menunjukkan bahwa performa penalaran mahasiswa STEM pada mata kuliah fisika modern dapat ditingkatkan dengan pembelajaran menggunakan simulasi virtual di dalam platform LMS. Analisis deskriptif dan statistik terhadap performa penalaran mahasiswa STEM menunjukkan keunggulan pembelajaran menggunakan simulasi virtual jika dibandingkan dengan pembelajaran tatap muka yang mengandalkan metode ekspositori. Kami menyarankan penggunaan simulasi virtual di dalam platform LMS untuk mengajarkan konsep-konsep abstrak yang tidak terbatas pada materi fisika modern tetapi dalam pembelajaran sains secara luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Studi ini merupakan penelitian peningkatan kapasitas dosen dalam mengembangkan pembelajaran di kelas, dan mendapat dukungan penuh dari pihak Universitas

Mataram. Akhirnya, kami mengucapkan terimakasih yang tulus kepada pihak-pihak yang telah berkontribusi dalam proses studi ini.

REFERENSI

- 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>