

Dampak Integrasi Simulasi Interaktif PhET terhadap Penguasaan Konsep Gradien di Perguruan Tinggi

Enika Wulandari¹, M. Hidayatur Rohman²

^{1,2}Universitas Islam Negeri Salatiga, Jl. Lingkar Salatiga km 02, Pulutan, Sidorejo, Salatiga, Jawa Tengah, Indonesia

E-mail: enika.wulandari@uinsalatiga.ac.id, hidayat80@uinsalatiga.ac.id

*Corresponding Author

ABSTRACT

This research is motivated by the difficulties faced by students in understanding the concept of gradients. The purpose of this study is to determine the impact of the integration of interactive PhET simulations on student learning outcomes on gradient material. This research is a quantitative study with a quasi-experimental research type through a pretest-posttest control group design. The study population was the first-year students of the Mathematics Education Study Program at UIN Salatiga in the 2024/2025 academic year. The research sample was class 1A students as the experimental class and class 1B students as the control class selected through clustered random sampling techniques. Data were collected through tests, observations, and documentation. Test data were processed through normality tests, homogeneity tests, and mean difference tests. Data analysis showed that student learning outcome data came from a population that was not normally distributed, indicated by the results of the normality test using the Shapiro-Wilk method with a sig. $0.001 < 0.05$. The homogeneity test with the Levene Test showed that the data was homogeneous, because the sig. Based on the median was $0.576 > 0.05$. The Mann-Whitney mean difference test where asymp sig (2-tailed) = $0.000 < 0.05$ means there is a significant mean difference between the learning outcomes of the experimental class and the learning outcomes of the control class. The mean rank of the experimental class is $34.98 > 17.37$ (mean rank) of the control class, which means the posttest ranking of the experimental class is higher than the ranking of the control class. This shows that the integration of PhET simulation is effective on student learning outcomes on gradient material. This research can be followed up by further researchers related to the development of technology-assisted learning models/approaches/methods.

Kata kunci: *Gradient, Student Learning Outcomes, PhET, Interactive Simulation*

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kesulitan yang dihadapi mahasiswa dalam memahami konsep gradien. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui dampak integrasi simulasi interaktif PhET terhadap hasil belajar mahasiswa pada materi gradien. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimen semu melalui *pretest-posttest control group design*. Populasi penelitian adalah mahasiswa tahun pertama Program Studi Tadris Matematika UIN Salatiga tahun akademik 2024/2025. Sampel penelitian adalah mahasiswa kelas 1A sebagai kelas eksperimen dan mahasiswa kelas 1B sebagai kelas kontrol yang dipilih melalui teknik *clustered random sampling*. Data dikumpulkan melalui tes, observasi, dan dokumentasi. Data hasil tes diolah melalui uji normalitas, uji homogenitas, dan uji perbedaan rata-rata. Analisis data menunjukkan bahwa data hasil belajar mahasiswa berasal dari populasi yang tidak berdistribusi normal, ditunjukkan oleh hasil uji normalitas menggunakan metode Shapiro-Wilk dengan sig. $0,001 < 0,05$. Uji homogenitas dengan Uji Levene menunjukkan bahwa data homogen, karena sig. *Based on median* $0,576 > 0,05$. Uji perbedaan rata-rata (Mann-Whitney) yang mana asymp sig (2-tailed) = $0,000 < 0,05$ berarti terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan antara hasil belajar kelas eksperimen dan hasil belajar kelas kontrol. *Mean rank* kelas eksperimen $34,98 > 17,37$ (mean rank) kelas kontrol, yang berarti rangking *posttest* kelas eksperimen lebih tinggi daripada rangking kelas kontrol. Hal tersebut menunjukkan bahwa integrasi simulasi PhET efektif terhadap hasil belajar mahasiswa pada materi gradien. Penelitian ini dapat ditindaklanjuti oleh peneliti selanjutnya berkaitan dengan pengembangan model/pendekatan/metode pembelajaran berbantuan teknologi.

Keywords: Gradien, Hasil Belajar Mahasiswa, PhET, Simulasi Interaktif

Dikirim: Juli 2025; Diterima: November 2025; Dipublikasikan: Maret 2026

Cara citasi: Wulandari, E. & Rohman, M. H. (2026). Dampak Integrasi Simulasi Interaktif PhET terhadap Penguasaan Konsep Gradien di Perguruan Tinggi. *Teorema: Teori dan Riset Matematika*, 11(1), 57-64.
DOI: <https://dx.doi.org/10.25157/teorema.v10i1.20211>.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](#) license



PENDAHULUAN

Matematika memiliki peran esensial dalam memperkuat kemampuan penalaran formal mahasiswa melalui latihan deduksi, pembuktian, dan argumen matematis yang sistematis (Dahlani & Widiyanto, 2024). Salah satu konsep dasar matematika yang penting untuk dikuasai oleh mahasiswa pada program studi kependidikan matematika adalah gradien. Dengan memahami konsep gradien, mahasiswa akan mampu untuk menganalisis perubahan, kemiringan, dan laju pertumbuhan dalam berbagai konteks dunia nyata.

Beberapa penelitian telah mengidentifikasi kesulitan yang dihadapi mahasiswa dalam memahami konsep gradien. Sejumlah mahasiswa melakukan kesalahan yang disebabkan karena tidak mengetahui hubungan turunan dengan gradien (Musyirifah, Afgani Dahlan, Cahya, & Hafiz, 2022). Ditemukan pula kebingungan dalam membedakan konsep gradien dan turunan berarah (Haniyah, Tantri, Ramadhani, & Narpila, 2025). Mahasiswa mengalami kesulitan dalam menyusun komponen gradien secara lengkap (Narpila, Garandina, & Rahmayani, 2025). Hal-hal tersebut menunjukkan bahwa kesulitan mahasiswa perlu diatasi untuk mendukung capaian hasil belajar mahasiswa khususnya pada aspek kognitif.

Di era digital saat ini, integrasi teknologi perlu dilakukan untuk mendukung efektivitas pembelajaran. Berbagai alat dan platform digital telah dikembangkan untuk mendukung pembelajaran misalnya *e-learning* (Supianti, 2016) dan simulasi interaktif. Simulasi interaktif meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan capaian akademik mahasiswa (Vlachopoulos & Makri, 2017). Pada pendidikan sains, penemuan siswa bahwa prediksi dikonfirmasi oleh peristiwa selanjutnya dalam simulasi dapat mengarah pada penyempurnaan pemahaman konseptual tentang suatu fenomena (Rutten, Van Joolingen, & Van Der Veen, 2012). Simulasi realitas campuran memiliki dampak positif pada siswa (Carver & Lamb, 2020). Salah satu platform simulasi interaktif yang telah banyak digunakan dalam pendidikan sains dan matematika adalah PhET *Interactive Simulations*.

Proyek PhET menyediakan lebih dari 160 simulasi di berbagai mata pelajaran seperti fisika, kimia, matematika, ilmu bumi, dan biologi (Diab, Daher, Rayan, Issa, & Rayan, 2024). Simulasi PhET menyediakan visualisasi dinamis yang memungkinkan kegiatan penemuan. Dalam konteks materi gradien, simulasi PhET menyediakan visualisasi dinamis tentang bagaimana perubahan pada sumbu- x dan sumbu- y memengaruhi kemiringan garis, serta bagaimana gradien terkait dengan fungsi linier. Integrasi simulasi PhET dalam pembelajaran gradien diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat signifikan. Simulasi PhET sebagai media pembelajaran dapat meningkatkan pemahaman konsep siswa pada mata Pelajaran IPA (Yulia, Connie, & Risdianto, 2018) dalam (Umiliya, Azizahwati, & Mahadi, 2023). Penggunaan simulasi dan permainan edukatif memiliki dampak positif pada hasil belajar di berbagai bidang (termasuk STEM), mencakup aspek kognitif, afektif, dan perilaku mahasiswa (Vlachopoulos & Makri, 2017).

Beberapa penelitian telah dilaksanakan dengan melibatkan penggunaan simulasi interaktif PhET dalam pembelajaran matematika. Pengembangan modul praktikum logika matematika berbasis simulasi PhET pernah dilakukan untuk meningkatkan kemampuan penalaran siswa (Prihatin & Oktaviana, 2021). Model kognitif tervalidasi pertama pernah diterbitkan yang menggambarkan kemahiran dalam pemahaman Matematika-Sains campuran yang dapat memandu pengembangan pengajaran, kurikulum, dan penilaian (Kaldaras & Wieman, 2023).

Meskipun demikian, penelitian yang secara spesifik mengkaji dampak integrasi simulasi interaktif PhET terhadap hasil belajar mahasiswa pada materi gradien, terutama dalam konteks mahasiswa, masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilaksanakan untuk mengisi kesenjangan tersebut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan bukti empiris mengenai efektivitas simulasi interaktif PhET dalam pembelajaran matematika di perguruan tinggi. Hasil tersebut dapat menjadi dasar pengambilan kebijakan mengenai integrasi simulasi interaktif khususnya PhET dalam perkuliahan untuk mendukung penguasaan mahasiswa terhadap konsep yang kompleks dan abstrak.

Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi pada literatur pendidikan matematika, khususnya dalam pengembangan strategi pembelajaran berbantuan teknologi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimen semu (*quasi-experimental research*). Desain penelitian yang digunakan adalah *pretest-posttest control group design*. Pemilihan desain ini memungkinkan peneliti untuk membandingkan hasil belajar antara kelompok yang menerima perlakuan (kelas eksperimen) dengan kelompok yang tidak menerima perlakuan (kelas kontrol), setelah mengukur kemampuan awal kedua kelompok (*pretest*) dan kemampuan akhir (*posttest*) (Creswell, 2014).

Populasi penelitian ini adalah seluruh mahasiswa tahun pertama Program Studi Tadris Matematika UIN Salatiga tahun akademik 2024/2025. Sampel penelitian diambil menggunakan teknik *clustered random sampling*. Teknik ini dipilih karena populasi terbagi secara alami ke dalam kelas-kelas, sehingga pengambilan sampel dilakukan per kelas, bukan per individu. Dari populasi yang ada, dipilih dua kelas secara acak untuk menjadi sampel penelitian, yaitu mahasiswa kelas 1A sebagai kelas eksperimen dan mahasiswa kelas 1B sebagai kelas kontrol. Penentuan kelas eksperimen dan kontrol secara acak di antara dua kelas terpilih bertujuan untuk meminimalkan bias dan memastikan bahwa kedua kelompok memiliki karakteristik awal yang sebanding sebelum perlakuan (Cohen, Manion, & Morisson, 2013).

Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahap, antara lain: 1) tahap persiapan meliputi penyusunan perangkat pembelajaran berupa rencana pembelajaran dan lembar kerja mahasiswa yang mengintegrasikan simulasi PhET untuk kelas eksperimen dan perangkat pembelajaran konvensional untuk kelas kontrol, serta instrumen tes hasil belajar (*pretest* dan *posttest*). 2) Tahap *pretest* yaitu kedua kelompok, baik kelas eksperimen maupun kelas kontrol, diberikan *pretest* untuk mengukur kemampuan awal mahasiswa pada materi gradien. *Pretest* ini berfungsi untuk memastikan bahwa kedua kelompok memiliki kemampuan awal yang relatif setara sebelum diberikan perlakuan. 3) *Perlakuan (Treatment)* yaitu pada kelas eksperimen pembelajaran materi gradien dilaksanakan dengan mengintegrasikan simulasi interaktif PhET pada tautan <https://phet.colorado.edu/>. Mahasiswa diberikan kesempatan untuk mengeksplorasi konsep gradien melalui manipulasi variabel pada simulasi, mengamati perubahan visual, dan berdiskusi, sedangkan pada kelas kontrol pembelajaran materi gradien dilaksanakan menggunakan metode konvensional yang umumnya diterapkan di kelas, yaitu melalui ceramah, penjelasan konsep, dan penyelesaian soal tanpa penggunaan simulasi PhET. Kedua kelompok menerima alokasi waktu pembelajaran yang sama yaitu 2x50 menit dan diajar oleh dosen yang sama untuk meminimalkan variabel pengganggu. 4) *Posttest* yang mana kedua kelompok diberikan soal yang sama untuk mengukur hasil belajar mereka pada materi gradien setelah perlakuan. 5) Selama proses pembelajaran dan tes berlangsung, dokumentasi juga dilakukan untuk mendukung analisis hasil tes dan memberikan gambaran lebih komprehensif tentang jalannya penelitian.

Data dalam penelitian ini dikumpulkan menggunakan teknik tes dan dokumentasi. Data hasil tes (*pretest* dan *posttest*) dianalisis menggunakan uji normalitas yang bertujuan untuk mengetahui apakah data hasil belajar mahasiswa berasal dari populasi yang berdistribusi normal atau tidak, uji homogenitas untuk mengetahui apakah varians data dari kedua kelompok bersifat homogen, dan uji perbedaan rata-rata yang mana apabila data tidak berdistribusi normal maka akan digunakan uji statistik non-parametrik, yaitu Uji Mann-Whitney U untuk menguji perbedaan rata-rata antara hasil belajar kelas eksperimen dan kelas kontrol dan jika data berdistribusi normal maka akan digunakan uji parametrik yaitu Uji t (*Independent Sample T-Test*) (Pallant, 2020).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil belajar mahasiswa pada aspek kognitif diperoleh dari nilai pretest dan posttest pada kedua kelompok. Pada kelas eksperimen diterapkan simulasi PheT. Adapun kelas kontrol menggunakan pembelajaran konvensional.

Sebelum melakukan uji perbedaan rata-rata, dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas data *posttest* untuk menentukan jenis uji statistik inferensial yang tepat. Uji normalitas pada penelitian ini dilakukan dengan menganalisis data posttest kelas eksperimen dan kelas kontrol secara bersama ($n=51$). Berikut adalah output uji normalitas menggunakan SPSS.

Tabel 1. Hasil Uji Normalitas Menggunakan SPSS

	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
pre_post	.151	51	.006	.907	51	.001

a. Lilliefors Significance Correction

Pada tabel tertera nilai signifikansi pada uji normalitas menggunakan metode Shapiro-Wilk sebesar $0,001 < 0,05$ yang bermakna data berasal dari populasi yang tidak berdistribusi normal. Tindak lanjut dari hasil uji normalitas tersebut adalah bahwa uji perbedaan rata-rata menggunakan uji statistik nonparametrik.

Meskipun data tidak normal, homogenitas varians tetap penting untuk dipertimbangkan. Uji homogenitas menggunakan uji *Levene's Test*. Berikut adalah output uji homogenitas menggunakan SPSS.

Tabel 2. Hasil Uji Homogenitas Menggunakan SPSS

Test of Homogeneity of Variance						
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.	
posttest	Based on Mean	.003	1	49	.960	
	Based on Median	.316	1	49	.576	
	Based on Median and with adjusted df	.316	1	40.395	.577	
	Based on the trimmed mean	.030	1	49	.863	

Pada tabel tersebut tertera sig. (*based on median*) $0,576 > 0,05$. Hal tersebut bermakna bahwa varians data *posttest* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol adalah homogen. Berkaitan dengan data hasil belajar mahasiswa yang tidak berdistribusi normal, uji perbedaan rata-rata antarkelompok dilakukan menggunakan statistika non parametrik dalam hal ini adalah Uji Mann-Whitney. Berikut adalah output uji Mann-Whitney menggunakan SPSS.

Tabel 3. Hasil Uji *Mann -Whitney* Menggunakan SPSS (*Test Statistics*)

Test Statistics	
	posttest
Mann-Whitney U	100.500
Wilcoxon W	451.500
Z	-4.286
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

a. Grouping Variable: kelas

Hasil uji Mann-Whitney U menunjukkan nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* = $0,000$. Karena nilai *asympt sig (2-tailed)* = $0,000 < 0,05$, maka H_0 ditolak. Penolakan H_0 berarti terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan antara *posttest* kelas eksperimen dan *posttest* kelas kontrol. Setelah terbukti bahwa terdapat perbedaan rata-rata hasil belajar yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas

kontrol selanjutnya perlu diketahui kelas mana yang capaian hasil belajarnya lebih tinggi. Kelas dengan capaian hasil belajar yang lebih tinggi menunjukkan kelas yang pembelajarannya efektif. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Uji *Mann -Whitney* Menggunakan SPSS (Ranks)

		Ranks		
	kelas	N	Mean Rank	Sum of Ranks
posttest	Kontrol	26	17.37	451.50
	Eksperimen	25	34.98	874.50
	Total	51		
a. Lilliefors Significance Correction				

Skor *mean rank* kelas eksperimen adalah 34,98 dan *mean rank* kelas kontrol sebesar 17,37. Perbedaan *mean rank* ini secara jelas menunjukkan bahwa peringkat hasil belajar *posttest* mahasiswa di kelas eksperimen (yang menggunakan PhET) lebih tinggi dibandingkan dengan kelas kontrol (yang menggunakan metode konvensional). Hal tersebut menunjukkan bahwa integrasi simulasi interaktif PhET efektif terhadap hasil belajar mahasiswa pada materi gradien.

Integrasi simulasi interaktif dalam pembelajaran di kelas eksperimen dilakukan dengan acuan berupa rencana pembelajaran dan lembar kerja mahasiswa. Rencana pembelajaran dan lembar kerja tersebut diadopsi dari *lesson plan* yang disediakan di laman <https://phet.colorado.edu/>. Mahasiswa berinteraksi dengan simulasi yang disediakan oleh PhET pada materi gradien pada tautan https://phet.colorado.edu/sims/html/graphing-lines/latest/graphing-lines_en.html.

Pada saat pelaksanaan penelitian, terdapat beberapa kendala. Pertama, belum terlaksananya observasi oleh pihak selain peneliti dan selain subjek penelitian. Dengan belum terlaksananya observasi menyebabkan kurang diketahuinya hal-hal rinci yang terjadi selama proses pembelajaran baik di kelas eksperimen maupun kelas kontrol. Kendala kedua adalah belum terlaksananya dokumentasi berupa video pelaksanaan pembelajaran. Hal ini menyebabkan kurang lengkapnya dokumen pelaksanaan perlakuan berupa integrasi simulasi interaksi PhET. Video pelaksanaan pembelajaran memungkinkan pengajar untuk meninjau kembali dan melakukan refleksi atas pembelajaran yang telah dilakukan.

Efektivitas pembelajaran yang mengintegrasikan simulasi interaktif PhET didukung oleh beberapa hal yang difasilitasi oleh PhET. Pertama, PhET menyediakan visualisasi yang dinamis dan interaktif. Matematika memiliki objek studi yang abstrak (Sumekar, Nurhasanah, & Sutopo, 2019). Simulasi PhET memungkinkan mahasiswa untuk memanipulasi variabel, misalnya menggeser titik-titik pada grafik dan PhET secara cepat menampilkan nilai gradien dan visualisasi garisnya. Teknologi simulasi memungkinkan mahasiswa untuk mengakses berbagai tingkat representasi dari suatu objek (Rahmawati, Zulhipri, Hartanto, Falani, & Iriyadi, 2022). Pemanfaatan simulasi PhET sebagai media pembelajaran yang dapat meningkatkan pemahaman konsep siswa pada mata pelajaran IPA sangat relevan untuk digunakan dan juga sesuai dengan abad perkembangan teknologi yang ada saat ini (Yulia *et al.*, 2018) dalam (Umiliya *et al.*, 2023).

Kedua, karakter interaktif yang dimiliki oleh PhET dapat mendorong partisipasi aktif oleh mahasiswa. Mahasiswa tidak hanya menjadi penerima informasi, tetapi juga menjadi agen aktif dalam proses belajar mereka. Pembelajar dapat bereksperimen, mencoba berbagai kondisi simulasi, dan menilai hasilnya secara langsung (Gunawan, Heliawati, & Permanasari, 2023). Tingkat keterlibatan yang tinggi ini cenderung meningkatkan retensi informasi dan pemahaman konsep jangka panjang. Hal ini sesuai dengan prinsip konstruktivisme, di mana pembelajar membangun pengetahuannya sendiri melalui interaksi dengan lingkungan (Bruner, 1974).

Ketiga, PhET menyediakan umpan balik yang membantu mahasiswa mengidentifikasi kesalahan dan mengoreksi pemahaman mereka secara *real-time*. Ketika mahasiswa mengubah variabel dalam simulasi, mahasiswa secara langsung dapat mengetahui hasil beserta visualisasinya.

Hal tersebut merupakan esensi dari pemberian umpan balik. Umpan balik formatif dari guru mendorong refleksi diri (*self-reflection*), strategi belajar mandiri, dan motivasi belajar yang lebih tinggi (Pan & Gan, 2015).

Temuan penelitian ini mendukung dan memperkuat hasil-hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan efektivitas simulasi interaktif atau teknologi serupa dalam pendidikan matematika dan sains. Penggunaan simulasi dan permainan edukatif memiliki dampak positif pada hasil belajar di berbagai bidang (termasuk STEM), mencakup aspek kognitif, afektif, dan perilaku mahasiswa (Vlachopoulos & Makri, 2017). Simulasi PhET dapat diintegrasikan secara efektif untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep ilmiah (Dy, Lagura, & Baluyos, 2024).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, diketahui bahwa terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan antara *posttest* kelas eksperimen dan *posttest* kelas kontrol, yang dibuktikan dengan nilai *asympt sig (2-tailed)* = 0,000 < 0,05 dari Uji Mann-Whitney. Ini berarti hipotesis nol (H_0) ditolak, menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan. Lebih lanjut, *mean rank* kelas eksperimen (34,98) lebih tinggi dibandingkan dengan *mean rank* kelas kontrol (17,37). Kesimpulan penelitian ini adalah bahwa integrasi simulasi interaktif PhET efektif terhadap hasil belajar mahasiswa pada materi gradien.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian, diberikan rekomendasi sebagai berikut, 1) dosen dianjurkan untuk mengintegrasikan simulasi interaktif PhET dalam pembelajaran materi gradien dikarenakan PhET membantu visualisasi konsep abstrak dan mendukung hasil belajar mahasiswa, 2) pimpinan program studi perlu mendukung dan memfasilitasi penggunaan teknologi dalam pembelajaran, seperti menyediakan pelatihan dan infrastruktur yang memadai, 3) peneliti lain disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan materi atau jenjang pendidikan yang berbeda, mengkaji variabel lain seperti motivasi atau gaya belajar, serta menggunakan *mix methods* untuk pemahaman yang lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian (LP2M) kepada Masyarakat UIN Salatiga yang telah melaksanakan pengelolaan kegiatan yang berkaitan dengan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bruner, J. S. (1974). *Toward a theory of instruction*. Harvard university press.
- Carver, L., & Lamb, J. (2020). Benefits of mixed reality simulations in online courses. *International Journal of Educational Technology and Learning*, 8(1). <https://doi.org/10.20448/2003.81.47.51>
- Cohen, L., Manion, L., & Morisson, K. (2013). *Research methods in education. Research methods in education* (Sixth Edit). London: Routledge.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Los Angeles: Sage.
- Dahlani, A., & Widiyanto, E. (2024). Peran matematika murni dalam pengembangan keterampilan penalaran formal: sebuah tinjauan terhadap pembelajaran pada tingkat pendidikan tinggi. *Logaritma Aksara: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika Dan Matematika Murni*, 01(01). Retrieved from <https://journal.publicationcenter.id/index.php/logaritma/article/view/108/102>
- Diab, H., Daher, W., Rayan, B., Issa, N., & Rayan, A. (2024). Transforming Science Education in Elementary Schools: The Power of PhET Simulations in Enhancing Student Learning. *Multimodal Technologies and Interaction*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/mti8110105>

- Dy, A. U., Lagura, J. C., & Baluyos, G. R. (2024). Using phet interactive simulations to improve the learners' performance in science. *EduLine: Journal of Education and Learning Innovation*, 4(4), 520–530. <https://doi.org/10.35877/454ri.eduline2981>
- Gunawan, A., Heliawati, L., & Permanasari, A. (2023). Effectiveness of deep phet interactive simulation improving understanding of the concept of material change. *JSEP*, 7(2). Retrieved from <https://journal.unpak.ac.id/index.php/jsep>
- Haniyah, N., Tantri, K., Ramadhani, I., & Narpila, S. D. (2025). Analisis kesulitan mahasiswa dalam memahami konsep dasar medan vektor, operator del, gradien dan turunan berarah. *Jurnal Intelek Dan Cendekiawan Nusantara*, 2(3). Retrieved from <https://jicnusanantara.com/index.php/jicn/article/download/4033/4101>
- Kaldaras, L., & Wieman, C. (2023). Cognitive framework for blended mathematical sensemaking in science. *International Journal of STEM Education*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00409-8>
- Musyriyah, E., Afgani Dahlan, J., Cahya, E., & Hafiz, M. (2022). Analisis learning obstacles mahasiswa calon guru matematika pada konsep turunan. *FIBONACCI: Jurnal Pendidikan Matematika Dan Matematika*, 8(2). <https://doi.org/10.24853/fbc.8.2.187-196>
- Narpila, S. D., Garandina, A., & Rahmayani. (2025). Analisis kesulitan mahasiswa dalam mengerjakan soal kalkulus vektor pada materi medan vektor terutama pada gradien dan turunan berarah. *Jurnal Intelek Dan Cendekiawan Nusantara*, 2(3). Retrieved from <https://jicnusanantara.com/index.php/jicn/article/view/3981/4053>
- Pallant, J. F. (2020). SPSS survival manual: a step by step guide to data analysis using IBM SPSS. <https://doi.org/10.4324/9781003117452/SPSS-SURVIVAL-MANUAL-JULIE-PALLANT>
- Pan, X., & Gan, Z. (2015). IJ §ER International Journal of Social Sciences and Education Research Understanding the impact of teacher's formative feedback on students' self-reflection behavior and learning motivation. Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/ijsser>
- Prihatin, I., & Oktaviana, D. (2021). Pengembangan modul praktikum logika matematika berbasis simulasi phet untuk meningkatkan kemampuan penalaran siswa. *Kreano, Jurnal Matematika Kreatif-Inovatif*, 12(2).
- Rahmawati, Y., Zulhipri, Hartanto, O., Falani, I., & Iriyadi, D. (2022). Students' conceptual understanding in chemistry learning using phet interactive simulations. *Journal of Technology and Science Education*, 12(2), 303–326. <https://doi.org/10.3926/jotse.1597>
- Rutten, N., Van Joolingen, W. R., & Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers and Education*, 58(1). <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Sumekar, W., Nurhasanah, F., & Sutopo, S. (2019). Analyzing students' abstraction in learning common tangent lines of two circles based on cognitive styles. *Beta: Jurnal Tadris Matematika*, 12(2). <https://doi.org/10.20414/betajtm.v12i2.325>
- Supianti, I. I. (2016). Dampak penerapan e-learning dalam pembelajaran matematika terhadap kemandirian belajar mahasiswa. *TEOREMA: Teori Dan Riset Matematika*, 1(1), 39. <https://doi.org/10.25157/teorema.v1i1.119>
- Umiliya, Azizahwati, & Mahadi, I. (2023). The effectiveness of the application of phet with the inquiry learning model to improve understanding of the concept. *JSER Journal of Science Education Research Journal*, 7(2), 82. Retrieved from www.journal.uny.ac.id/jser
- Vlachopoulos, D., & Makri, A. (2017). The effect of games and simulations on higher education: a systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-017-0062-1>

Yulia, I., Connie, & Risdianto, E. (2018). Pengembangan LKPD berbasis inquiry berbantuan simulasi phet untuk meningkatkan penguasaan konsep gelombang cahaya di kelas XI MIPA SMAN 2 Kota Bengkulu. *Jurnal Kumparan Fisika*, 1(3). Retrieved from https://ejournal.unib.ac.id/kumparan_fisika/article/view/6484/3078