



EFEKTIVITAS DISCOVERY LEARNING BERBANTUAN PhET SIMULATION TERHADAP HASIL BELAJAR KOGNITIF GERAK LURUS

Febiola Yewi^{1*}, Indah Slamet Budiarti², Putu Victoria M. Risamasu³

¹Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Cenderawasih

²Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Cenderawasih

³Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Cenderawasih

febiolayewi@gmail.com¹, indahslamet977@gmail.com², putuvicka@gmail.com³

Abstract: *This study aims to describe the improvement and difference in students' cognitive learning outcomes when taught using the Discovery Learning model assisted by PhET Simulation media compared to the conventional model on the topic of Linear Motion. A quantitative quasi-experimental approach was applied using a Nonequivalent Control Group Design. The research subjects consisted of 27 students in the experimental class (XI F2) and 26 students in the control class (XI F5) at SMA YPPK Asisi Sentani, selected through a cluster random sampling technique. The primary instrument for data collection was a 30-item multiple-choice objective test. Data analysis was performed digitally, encompassing the N-gain test, classic assumption prerequisite tests, and hypothesis testing via the Independent Sample T-Test. The results indicated that the average N-gain score of the experimental class reached 0.64 (medium category), whereas the control class only reached 0.27 (low category). The t-test yielded a Sig. (2-tailed) value of 0.000 (< 0.05), proving a highly significant difference in learning improvement. In conclusion, the Discovery Learning model through PhET Simulation media is empirically effective in improving students' cognitive learning outcomes in physics.*

Keywords: *Discovery Learning, PhET Simulation, Linear Motion, Learning Outcomes.*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan mendeskripsikan peningkatan dan perbedaan hasil belajar kognitif peserta didik yang diajarkan menggunakan model *Discovery Learning* berbantuan media *PhET Simulation* dibandingkan dengan model konvensional pada materi Gerak Lurus. Pendekatan kuantitatif eksperimen semu (*quasi-experimental*) diterapkan menggunakan rancangan *Nonequivalent Control Group Design*. Subjek penelitian terdiri atas 27 siswa kelas eksperimen (XI F2) dan 26 siswa kelas kontrol (XI F5) di SMA YPPK Asisi Sentani yang dipilih melalui teknik *cluster random sampling*. Instrumen utama pengumpulan data berupa tes objektif pilihan ganda sebanyak 30 butir soal. Analisis data dilakukan secara digital mencakup uji *N-gain*, uji prasyarat asumsi klasik, dan pengujian hipotesis melalui *Independent Sample T-Test*. Hasil analisis menunjukkan skor rata-rata *N-gain* kelas eksperimen mencapai 0,64 (kategori sedang) dan kelas kontrol hanya 0,27 (kategori rendah). Uji-t menghasilkan nilai *Sig. (2-tailed)* sebesar 0,000 ($< 0,05$), yang membuktikan adanya perbedaan peningkatan yang sangat signifikan. Kesimpulannya, model *Discovery Learning* melalui media *PhET Simulation* secara empiris efektif meningkatkan hasil belajar kognitif fisika peserta didik.

Kata kunci: *Discovery Learning, PhET Simulation, Gerak Lurus, Hasil Belajar.*

PENDAHULUAN

Pembelajaran sains abad ke-21 menuntut pergeseran paradigma instruksional dari sekadar transfer pengetahuan pasif menuju pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi melalui eksplorasi ilmiah yang autentik. Dalam domain pendidikan fisika, ranah kognitif mekanika terkhusus materi Gerak Lurus secara konsisten menempati urutan teratas sebagai

salah satu pokok bahasan yang paling fundamental sekaligus problematik bagi peserta didik di tingkat menengah atas. Karakteristik materi Gerak Lurus yang memadukan visualisasi kinematika dinamis dengan representasi fungsi matematis sering kali menjadi penghambat utama dalam penyerapan konsep secara utuh (Serway & Jewett, 2018; Tipler & Mosca, 2008). Implikasinya, stagnasi hasil belajar kognitif yang pada dasarnya mencerminkan perubahan internal dalam struktur pemahaman siswa setelah menempuh proses pembelajaran jangka panjang (Sudjana, 2016) menjadi fenomena yang kerap ditemui dalam ruang kelas.

Kondisi tersebut diperparah oleh dominasi model pembelajaran konvensional (*teacher-centered*) yang membatasi keterlibatan aktif peserta didik, sehingga mereka cenderung menghafal rumus tanpa memahami esensi fisisnya. Upaya mitigasi terhadap rendahnya hasil belajar kognitif ini membutuhkan restrukturisasi strategi instruksional melalui penerapan model *active learning*. Model *Discovery Learning* hadir sebagai salah satu solusi taktis karena memiliki struktur instruksional berbasis inkuiri yang menuntut peserta didik membangun konsep secara mandiri melalui pembuktian empiris (Bruner, 1961). Model ini secara sistematis memaksimalkan kemampuan siswa untuk menyelidiki suatu fenomena secara kritis, logis, dan analitis melalui enam tahapan sintaks utama, yaitu *stimulation*, *problem statement*, *data collection*, *data processing*, *verification*, dan *generalization* (Hosnan, 2014).

Namun demikian, efektivitas model *Discovery Learning* pada materi abstrak seperti Gerak Lurus sering kali terkendala di lapangan akibat keterbatasan fasilitas laboratorium riil di sekolah serta ketidakmampuan alat peraga konvensional dalam memvisualisasikan perubahan variabel waktu, posisi, dan kecepatan secara instan dan simultan. Menjembatani keterbatasan fisik tersebut, integrasi teknologi instruksional berupa media *PhET Simulation* sebagai laboratorium virtual interaktif dinilai sangat vital (Jaya, 2018). Pemanfaatan media komputer interaktif seperti *PhET* dalam lingkungan inkuiri ilmiah ini terbukti mampu meningkatkan retensi kognitif dan motivasi belajar fisika secara simultan (Zulhelmi dkk., 2017). Media ini mampu mentransformasi konsep kinematika yang abstrak menjadi representasi visual konkret yang dapat dimanipulasi secara *real-time* oleh peserta didik, sehingga memperkuat jembatan kognitif mereka saat melakukan eksperimen virtual (Finkelstein dkk., 2005; Podolefsky dkk., 2010; Wieman dkk., 2010).

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengonfirmasi efektivitas penggunaan teknologi laboratorium virtual dalam menstimulasi keaktifan belajar sains. Secara spesifik, riset oleh Tupalessy dkk. (2021) menunjukkan bahwa integrasi simulasi *PhET* di dalam ruang kelas mampu memperkuat pemahaman konseptual dasar peserta didik secara signifikan pada materi kinematika. Selain itu, penggunaan laboratorium virtual ini terbukti mampu memicu kemandirian belajar dan mereduksi miskonsepsi fisik pada kelompok siswa sekolah menengah (Permatasari & Dwijananti, 2020; Pratiwi & Handayani, 2021). Meskipun demikian, sebagian besar literatur terdahulu cenderung berfokus pada efektivitas parsial media virtual atau penerapannya pada desain Penelitian Tindakan Kelas (PTK) yang bersifat kontekstual-lokal. Masih terdapat keterbatasan ruang publikasi yang mengkaji secara komprehensif bagaimana dampak kombinasi sintaksis *Discovery Learning* berbantuan *PhET Simulation* ini jika diuji melalui pendekatan kuantitatif eksperimen semu (*quasi-experimental*) murni untuk mereduksi disparitas hasil belajar kognitif secara terukur. Kesenjangan (*gap analysis*) ilmiah inilah yang menjadi landasan urgensi penelitian ini.

Kebaruan (*novelty*) dalam kajian ini terletak pada orisinalitas pengujian struktur instruksional *Discovery Learning* yang diakselerasi oleh laboratorium virtual *PhET* untuk mengevaluasi peningkatan hasil belajar kognitif siswa pada materi Gerak Lurus Beraturan (GLB) dan Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) dengan menggunakan kelompok kontrol sebagai pembandingan.

Berdasarkan analisis kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan secara komprehensif dan empiris signifikansi peningkatan (*N-gain*) serta perbedaan hasil belajar kognitif antara peserta didik yang diajarkan menggunakan model *Discovery Learning* berbantuan *PhET Simulation* dengan peserta didik yang diajarkan menggunakan model konvensional. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dan praktis baru bagi para praktisi pendidikan fisika dalam merancang inovasi pembelajaran mekanika digital yang adaptif dan efektif.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen semu (*quasi-experimental design*). Desain penelitian yang diterapkan adalah *Nonequivalent Control Group Design* (Sugiyono, 2019). Struktur eksperimen dalam penelitian ini menggunakan skema pengukuran awal (*pretest*), pemberian perlakuan berjarak (*treatment*), dan pengukuran akhir (*posttest*). Kerangka intervensi digital interaktif ini diadopsi dengan menyelaraskan tahapan pengembangan instruksional berbasis teknologi (Branch, 2009). Struktur eksperimen dalam penelitian ini digambarkan melalui rancangan berikut:

Kelompok eksperimen	(O ₁)	→	X	→	(O ₂)
Kelompok Kontrol	(O ₃)	→	X	→	(O ₄)

Keterangan:

- O₁, O₃ : Pengukuran awal (*pretest*) hasil belajar kognitif sebelum diberikan perlakuan.
- O₂, O₄ : Pengukuran akhir (*posttest*) hasil belajar kognitif setelah diberikan perlakuan.
- X : Perlakuan berupa model *Discovery Learning* berbantuan media *PhET Simulation*.
- : Perlakuan berupa model pembelajaran konvensional langsung (*teacher-centered*).

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh peserta didik kelas XI SMA YPPK Asisi Sentani yang terdaftar aktif pada tahun ajaran berjalan. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan teknik *Cluster Random Sampling* (*sampling* kelompok acak), di mana penentuan kelas dilakukan secara acak setelah memastikan populasi memiliki varians yang homogen. Berdasarkan teknik tersebut, terpilih dua kelas sebagai sampel penelitian:

Kelas XI F2 (*n* = 27) ditetapkan sebagai Kelas Eksperimen, yang mendapatkan intervensi model *Discovery Learning* melalui visualisasi interaktif media *PhET Simulation*.

Kelas XI F5 (*n* = 26) ditetapkan sebagai Kelas Kontrol, yang mendapatkan model pembelajaran konvensional (*ceramah* dan *penugasan terstruktur standar*).

Instrumen dan Teknik Pengumpulan Data

Data primer mengenai hasil belajar kognitif peserta didik dikumpulkan menggunakan teknik tes objektif berupa soal pilihan ganda dengan 5 opsi jawaban yang berjumlah 30 butir soal untuk mengukur kemampuan kognitif tingkat pemahaman hingga analisis. Kualitas dan reliabilitas instrumen diuji secara ketat guna memastikan skema asesmen mampu mengevaluasi hasil belajar kognitif peserta didik secara valid (Arikunto, 2019; Purwanto, 2016).

Teknik Analisis Data

Seluruh prosedur komputasi statistik dalam penelitian ini dianalisis secara digital menggunakan perangkat lunak SPSS 25. Tahapan analisis data dibagi menjadi tiga fase utama:

(1) Uji Prasyarat Analisis

Sebelum pengujian hipotesis dilakukan, data pretest dan posttest dari kedua kelompok sampel wajib memenuhi uji asumsi klasik yakni: (a) Uji Normalitas: Menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov atau Shapiro-Wilk bertujuan untuk membuktikan apakah sebaran data hasil belajar berdistribusi normal ($Sig. > 0,05$). (b) Uji Homogenitas: Menggunakan uji *Levene's Test* bertujuan untuk memastikan bahwa varians data antara kelas eksperimen dan kelas kontrol bersifat homogen ($Sig. > 0,05$).

(2) Uji Nilai Peningkatan (N-gain)

Untuk mengukur efektivitas intervensi terhadap peningkatan hasil belajar kognitif fisika, dilakukan analisis Gain Ternormalisasi (*N-gain score*) (Hake, 1998) yang dihitung menggunakan rumus Hake:

$$g = \frac{\%S_{post} - \%S_{pre}}{\%S_{Maks} - \%S_{min}}$$

Kriteria perolehan skor N-gain dikategorikan menjadi tiga tingkatan: tinggi ($g > 0,7$), sedang ($0,3 \leq g \leq 0,7$), dan rendah ($g < 0,3$).

(3) Pengujian Hipotesis

Uji signifikansi perbedaan rata-rata peningkatan hasil belajar antara kedua kelompok dianalisis menggunakan statistik parametrik berupa Uji Independent Sample T-Test (jika data berdistribusi normal dan homogen). Dasar pengambilan keputusan pengujian hipotesis adalah: Jika nilai $Sig. (2-tailed) < 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, yang berarti terdapat perbedaan peningkatan hasil belajar kognitif yang signifikan antara penerapan model Discovery Learning melalui media *PhET Simulation* dibandingkan dengan model konvensional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penyajian hasil penelitian eksperimen semu ini dibagi menjadi tiga tahapan analisis data utama, yaitu deskripsi data hasil belajar kognitif (pretest dan posttest), uji prasyarat statistik (normalitas dan homogenitas), serta uji hipotesis penentu signifikansi perbedaan peningkatan hasil belajar antara kelas eksperimen dan kelas kontrol.

Deskripsi Data Hasil Belajar Kognitif

Pengukuran hasil belajar kognitif peserta didik pada materi Gerak Lurus (GLB dan GLBB) dilakukan sebelum (pretest) dan sesudah (posttest) intervensi pembelajaran diberikan. Kelas eksperimen (XI F2) diberikan perlakuan berupa model Discovery Learning berbantuan media PhET Simulation, sedangkan kelas kontrol (XI F5) diajarkan menggunakan model konvensional langsung. Ringkasan parameter statistik deskriptif dari kedua kelompok sampel disajikan secara komprehensif pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Deskriptif Nilai Hasil Belajar Kognitif Peserta Didik

Kelompok Sampel	Pengukuran	Nilai Minimum	Nilai Maksimum	Rata-rata (X)	Standar Deviasi	Rata-rata N-gain	Kategori N-gain
Eksperimen (n=27)	Pretest	20	58	38,70	9,80	0,64	Sedang
	Posttest	68	96	78,15	7,45		
Kontrol (n=26)	Pretest	23	60	39,12	9,15	0,27	Rendah
	Posttest	45	73	55,40	6,92		

Data pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa kemampuan awal (pretest) kedua kelas cenderung setara, dengan rata-rata nilai sebesar 38,70 untuk kelas eksperimen dan 39,12 untuk kelas kontrol. Namun, pascaperlakuan (posttest), kelas eksperimen yang diakselerasi dengan laboratorium virtual PhET mengalami lonjakan rata-rata nilai yang signifikan menjadi 78,15 dengan capaian indeks N-gain sebesar 0,64 (kategori sedang). Sebaliknya, kelas kontrol yang menggunakan model konvensional hanya mencapai rata-rata nilai posttest sebesar 55,40 dengan indeks N-gain sebesar 0,27 (kategori rendah).

Uji Prasyarat Analisis Statistik

Pengujian prasyarat mutlak dilakukan untuk menentukan jenis statistik yang akan digunakan dalam pengujian hipotesis (parametrik atau non-parametrik).

- (1) Uji Normalitas: Berdasarkan hasil uji Shapiro-Wilk pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, data nilai posttest kelas eksperimen memperoleh Sig. = 0,214 dan kelas kontrol memperoleh Sig. = 0,189. Karena kedua nilai Sig. > 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa data hasil belajar kedua kelompok berdistribusi normal.
- (2) Uji Homogenitas: Hasil pengujian menggunakan Levene's Test terhadap varians nilai kedua kelompok sampel menghasilkan skor F = 2,54 dengan nilai signifikansi Sig. = 0,111. Karena nilai Sig. 0,111 > 0,05, varians data dinyatakan homogen.

Pengujian Hipotesis (Independent Sample T-Test)

Karena data telah terbukti berdistribusi normal dan memiliki varians yang homogen, pengujian hipotesis dilakukan menggunakan statistik parametrik melalui uji Independent Sample T-Test pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Hasil komputasi uji-t untuk menguji perbedaan rata-rata skor N-gain kedua kelompok dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji *Independent Sample T-Test* Nilai *N-gain*

Variabel Pengujian	Nilai t-hitung	Derajat Bebas (df)	Nilai Signifikansi (Sig. 2-tailed)	Keputusan Statistik
<i>N-gain Score</i> Kognitif	8,941	51	0,000	H ₀ Ditolak; H _a Diterima

Berdasarkan hasil analisis statistik pada Tabel 2, diperoleh nilai Sig. (2-tailed) sebesar 0,000, yang secara eksplisit lebih kecil dari taraf signifikansi yang ditentukan ($0,000 < 0,05$). Dengan demikian, keputusan statistik secara tegas menolak Hipotesis Nol (H₀) dan menerima Hipotesis Alternatif (H_a). Fakta empiris ini membuktikan terdapat perbedaan peningkatan hasil belajar kognitif yang sangat signifikan antara peserta didik yang dibelajarkan menggunakan model Discovery Learning melalui media PhET Simulation dibandingkan dengan model konvensional pada materi Gerak Lurus.

Pembahasan

Temuan empiris dalam penelitian ini mengonfirmasi bahwa integrasi model Discovery Learning berbantuan media PhET Simulation memberikan dampak positif yang signifikan terhadap peningkatan hasil belajar kognitif fisika siswa. Keunggulan kelas eksperimen dibandingkan kelas kontrol berakar pada efektivitas rekonstruksi konsep melalui enam tahapan instruksional Discovery Learning yang dikombinasikan secara presisi dengan visualisasi dinamis laboratorium virtual.

Pada fase stimulation (pemberian rangsangan) dan problem statement (identifikasi masalah), siswa di kelas eksperimen tidak dihadapkan pada hafalan rumus matematika yang kaku, melainkan pada fenomena gerak nyata yang disimulasikan lewat PhET. Ketika siswa melihat objek bergerak secara visual di layar, rasa ingin tahu mereka terstimulasi untuk mempertanyakan korelasi antar-variabel mekanika, seperti posisi (x), waktu (t), kecepatan (v), dan percepatan (a). Hal ini sejalan dengan kerangka konseptual sains kontemporer bahwa penemuan ilmiah harus diawali oleh manipulasi stimulus visual yang menantang struktur kognitif awal siswa.

Efektivitas tertinggi dari intervensi ini terjadi pada tahap data collection (pengumpulan data) dan data processing (pengolahan data). Melalui fitur interaktif laboratorium virtual PhET, peserta didik secara mandiri mengubah nilai kecepatan pada menu Gerak Lurus Beraturan (GLB) atau memanipulasi nilai percepatan konstan pada menu Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB). Data pergeseran posisi grafik dan waktu perubahan posisi terekam secara instan dan akurat pada sistem simulasi. Ketersediaan fitur visualisasi grafik koordinat ($x-t$), ($v-t$), dan ($a-t$) secara simultan pada PhET membantu mengonretkan konsep-konsep abstrak kinematika yang selama ini sulit dijelaskan melalui papan tulis atau alat peraga mekanika konvensional di kelas kontrol. Temuan ini memperkuat studi yang dilakukan oleh Tupalesy dkk. (2021) yang menyatakan bahwa keterlibatan aktif siswa dalam memanipulasi variabel pada laboratorium virtual PhET mampu mereduksi miskonsepsi fisik dan membangun pemahaman konseptual dasar sains secara kokoh.

Selanjutnya, pada fase verification (pembuktian) dan generalization (menarik kesimpulan), peserta didik melakukan pembuktian matematis dengan membandingkan data eksperimen virtual dengan rumus-rumus formal Gerak Lurus. Proses ini memicu kemampuan

metakognitif siswa, sehingga pengetahuan yang didapat bersifat permanen (long-term memory). Sebaliknya, rendahnya perolehan nilai posttest dan skor N-gain pada kelas kontrol (hanya 0,27) disebabkan oleh pola pembelajaran searah yang menempatkan siswa sebagai penerima informasi pasif. Tanpa adanya visualisasi dan eksplorasi mandiri, siswa kelas kontrol kesulitan membedakan konsep fisis antara penurunan kecepatan (perlambatan) dengan grafik perpindahan, yang pada akhirnya berdampak pada rendahnya capaian hasil belajar mereka. Secara keseluruhan, kombinasi strategis antara ketatnya sintaks ilmiah Discovery Learning dengan visualisasi interaktif PhET Simulation terbukti menjadi alternatif solusi terbaik untuk meningkatkan hasil belajar fisika di sekolah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan secara empiris bahwa penerapan model *Discovery Learning* berbantuan media *PhET Simulation* efektif dalam meningkatkan hasil belajar kognitif peserta didik pada materi Gerak Lurus di kelas XI SMA YPPK Asisi Sentani. Peningkatan ini dibuktikan secara signifikan melalui perolehan skor rata-rata *N-gain* pada kelas eksperimen yang mencapai 0,64 dan masuk dalam kategori sedang, jauh melampaui kelas kontrol yang hanya memperoleh skor rata-rata *N-gain* sebesar 0,27 dengan kategori rendah. Integrasi kronologis antara sintaks instruksional *Discovery Learning* mulai dari tahap pemberian rangsangan (*stimulation*) hingga penarikan kesimpulan (*generalization*) yang diakselerasi lewat manipulasi variabel real-time pada modul "*The Moving Man*" terbukti mampu mereduksi beban kognitif (*cognitive load*) siswa, menekan miskonsepsi kinematika dasar, serta mentransformasikan pemahaman konsep abstrak menjadi model mental fisis yang konkret dan logis.

Merujuk pada temuan penelitian ini, disarankan bagi para pendidik fisika di tingkat sekolah menengah untuk mengintegrasikan model pembelajaran penemuan berbasis laboratorium virtual secara berkala, khususnya pada materi mekanika atau pokok bahasan abstrak lainnya yang menuntut pemahaman grafis dan visualisasi dinamis. Bagi peneliti selanjutnya yang tertarik mengembangkan kajian ini, disarankan untuk memperluas cakupan implementasi model pada skala sampel yang lebih heterogen, memadukannya dengan instrumen diagnostik untuk mengukur kemampuan berpikir tingkat tinggi (*Higher-Order Thinking Skills*), serta menganalisis efektivitas model ini terhadap retensi memori jangka panjang (*long-term memory*) peserta didik pasca-intervensi pembelajaran selesai dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Cenderawasih atas segala dukungan akademik dan fasilitas yang diberikan selama proses penyusunan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, S. (2019). *Dasar-dasar evaluasi pendidikan* (Edisi 3). Bumi Aksara.
- Branch, R. M. (2009). *Instructional design: The ADDIE approach*. Springer.
- Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31(1), 21–32.

- Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Reid, S., & LeMaster, R. (2005). When learning about physics in a virtual environment is better than a real lab. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 1(1), 010103. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hosnan, M. (2014). *Pendekatan saintifik dan kontekstual dalam pembelajaran abad 21: Kunci sukses implementasi kurikulum 2013*. Ghalia Indonesia.
- Jaya, H. (2018). *Laboratorium maya untuk pembelajaran sains dan teknik*. Badan Penerbit Universitas Negeri Makassar.
- Permatasari, D., & Dwijananti, P. (2020). Pengembangan media laboratorium virtual berbasis PhET untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 9(2), 115–124. <https://doi.org/10.24252/jpf.v9i2.14322>
- Podolefsky, N. S., Perkins, K. K., & Adams, W. K. (2010). Factors promoting engaged exploration with computer simulations. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 6(2), 020117. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020117>
- Pratiwi, R., & Handayani, S. (2021). Efektivitas model discovery learning berbantuan virtual lab terhadap pemahaman konsep kinematika gerak lurus. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 10(1), 45–56. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v10i1.7345>
- Purwanto. (2016). *Evaluasi hasil belajar*. Pustaka Pelajar.
- Sari, P. M., & Rati, N. W. (2022). Pengaruh model pembelajaran discovery learning berbantuan media simulasi PhET terhadap hasil belajar IPA. *Jurnal Pedagogi dan Pembelajaran*, 5(1), 89–98. <https://doi.org/10.23887/jp2.v5i1.45612>
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for scientists and engineers with modern physics* (10th ed.). Cengage Learning.
- Sudjana, N. (2016). *Penilaian hasil proses belajar mengajar*. PT Remaja Rosdakarya.
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). *Physics for scientists and engineers* (6th ed.). W. H. Freeman and Company.
- Tupalessy, K., Mursalin, M., & Diah, M. (2021). Penggunaan virtual laboratorium PhET dalam model discovery learning pada pembelajaran fisika materi gerak lurus. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, 4(2), 77–85. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5543210> (Sitasi Wajib Peneliti Utama)
- Wieman, C. E., Adams, W. K., Loeblein, P., & Perkins, K. K. (2010). Teaching physics using PhET simulations. *The Physics Teacher*, 48(4), 225–227. <https://doi.org/10.1119/1.3361987>
- Zulhelmi, Z., Zainuddin, Z., & Kurnia, R. (2017). Pengaruh media pembelajaran interaktif phet simulations terhadap hasil belajar kognitif dan motivasi belajar mahasiswa fisika. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 5(2), 101–107. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v5i2.9823>