

PENGARUH PENGGUNAAN PHET SIMULASI TERHADAP PENINGKATAN HASIL BELAJAR FISIKA: UPAYA MENJAWAB TANTANGAN TRANSFORMASI PEMBELAJARAN FISIKA ERA SOCIETY 5.0

I Gede Purwana Edi Saputra^{*1}, Surya Nigsih², Triani³, Bardan Bulaka⁴,
Rina Sardiana Sari⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Sembilanbelas November Kolaka

e-mail^{*1}: gedepurwana@gmail.com

Diterima 9 Juli 2025

Dipublikasikan 31 Desember 2025

DOI Artikel: <https://doi.org/10.33369/jkf.8.3.117-130>

ABSTRAK

Pembelajaran fisika seringkali dihadapkan pada berbagai tantangan, yakni konsep yang abstrak, metode pengajaran yang kurang interaktif dan tidak berorientasi *student centered*, serta keterbatasan fasilitas laboratorium yang berdampak pada rendahnya hasil belajar dan kurangnya pengembangan keterampilan abad 21 yang krusial di era *Society 5.0*. Menjawab permasalahan ini, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan simulasi PhET terhadap peningkatan hasil belajar fisika siswa kelas X SMA Negeri 1 Watubangga. Metode penelitian menggunakan desain kuasi-eksperimental dengan pendekatan *Nonequivalent Control Group Designs*. Sampel penelitian terdiri dari dua kelas yang dipilih secara *cluster random sampling*, satu sebagai kelompok eksperimen yang menerima pembelajaran fisika menggunakan simulasi PhET, dan satu sebagai kelompok kontrol yang menerima pembelajaran konvensional. Instrumen tes hasil belajar fisika divalidasi secara komprehensif, termasuk validitas isi menggunakan koefisien *Aiken's V* dan validitas empiris menggunakan model *Rasch*, serta reliabilitas diukur dengan *Cronbach's Alpha*. Analisis data menggunakan deskriptif statistik dan analisis inferensial dengan uji-t independen pada skor *N-Gain*. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan hasil belajar fisika yang signifikan pada kelompok eksperimen dibandingkan dengan kelompok kontrol, yakni hasil deskriptif statistik rerata skor *N-Gain* kelompok eksperimen 0.38 (kategori sedang) dan uji inferensial diperoleh nilai $p < 0.001$ dari uji-t independen. Temuan ini menyimpulkan bahwa simulasi PhET merupakan alat yang efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep siswa yang berdampak pada peningkatan hasil belajar fisika, sekaligus menjadi strategi inovatif untuk menjawab tantangan transformasi pembelajaran fisika di era *Society 5.0*, yakni mempersiapkan siswa dengan keterampilan abad ke-21 yang relevan.

Kata kunci : PhET Simulasi, Hasil Belajar Fisika, Transformasi Pembelajaran, *Society 5.0*

ABSTRACT

Physics learning faces various challenges, including abstract concepts, teaching methods that are insufficiently interactive and not student-centered, and limited laboratory facilities. These issues contribute to low learning outcomes and insufficient development of 21st-century skills that are crucial in the *Society 5.0* era. To address these problems, this study aims to analyze the effect of using PhET simulations on improving the physics learning outcomes of 10th-grade students at SMA Negeri 1 Watubangga. This research is quasi-experimental with *Nonequivalent Control Group Design* approach. The sample consisted of two classes selected through *cluster random sampling*: one as the experimental group, which received physics instruction using PhET simulations, and one as the control group, which received conventional instruction. The learning outcome test instrument underwent comprehensive validation, including content validity using *Aiken's V* and empirical validity through the *Rasch* model. Reliability was assessed using *Cronbach's Alpha*. Data were analyzed using descriptive statistics and inferential statistics with an independent t-test on normalized gain (*N-Gain*) scores. The results revealed a statistically significant improvement in the learning outcomes of the experimental group compared to the control group, with an average *N-Gain* score of 0.38 (categorized as moderate). The inferential analysis yielded a p -value < 0.001 in the independent t-test. These findings suggest that PhET simulations are effective tools for enhancing students' conceptual understanding that positively impacting physics learning outcomes. Moreover, PhET simulations offer an innovative instructional strategy for transforming physics education in the *Society 5.0* era, particularly in preparing students with relevant 21st-century competencies.

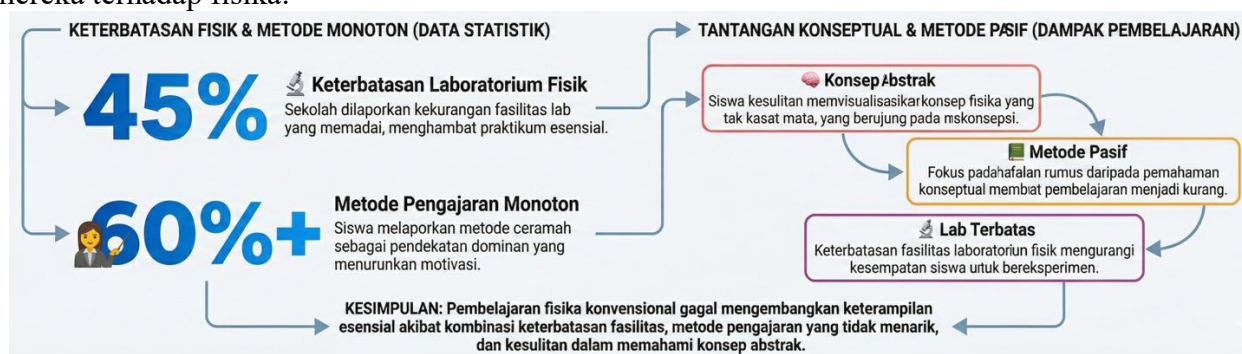
Keywords: PhET Simulations, Physics Learning Outcomes, Instructional Transformation, *Society 5.0*

I. PENDAHULUAN

Fisika berperan penting memperkuat literasi ilmiah dan kemampuan berpikir kritis siswa, yang merupakan bagian dari keterampilan abad 21(1). Namun, pembelajaran fisika, khususnya di tingkat sekolah menengah atas (SMA) di Indonesia, seringkali dihadapkan pada berbagai tantangan yang menghambat ketuntasan belajar. Salah satu tantangan utama adalah sifat abstrak dari sebagian besar konsep fisika, yang sering menimbulkan kesulitan signifikan bagi siswa memahami konsep dasar dan mengembangkan pemahaman yang benar, bahkan seringkali memicu miskonsepsi (2–4). Konsep dasar seperti gaya dan gerak, energi, gelombang, dan listrik seringkali menjadi area di mana siswa menunjukkan kesulitan memahami konsep fisika (5–9).

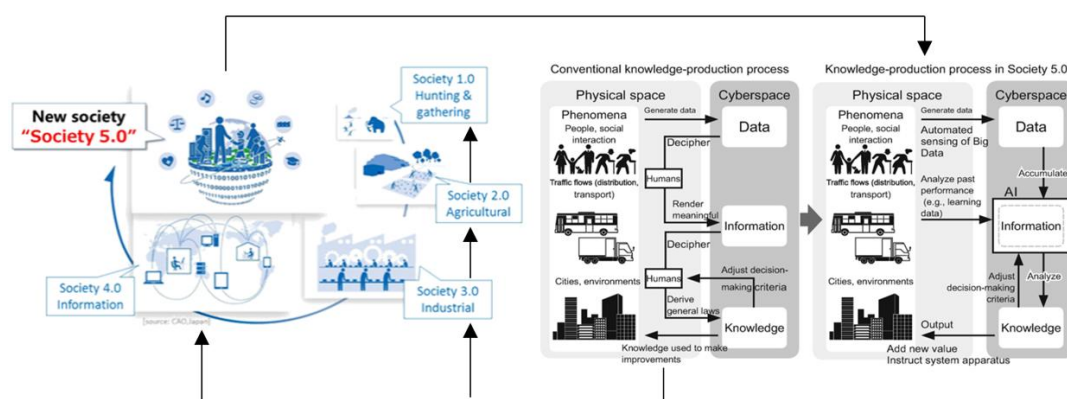
Selain itu, metode pengajaran fisika yang bersifat *teacher-centered* masih dominan diterapkan di banyak sekolah SMA di Indonesia. Pendekatan ini cenderung menekankan hafalan rumus dibandingkan pemahaman konseptual yang mendalam dan aplikasi dalam kehidupan nyata, yang dapat mengakibatkan motivasi dan minat siswa dalam belajar fisika rendah, dan lingkungan belajar yang pasif. Keterbatasan kit laboratorium fisik di sekolah juga memperparah kondisi ini, membatasi kesempatan siswa untuk melakukan eksperimen langsung dan mengamati fenomena fisika secara konkret.

Berdasarkan hasil observasi awal pada 10 SMA yang ada di kabupaten kolaka, peneliti mengilustrasikan 2 tantangan terbesar pembelajaran fisika seperti pada gambar 1. Situasi ini menciptakan kebutuhan mendesak akan inovasi pedagogis yang dapat menjembatani kesenjangan antara konsep abstrak dan pengalaman siswa, serta meningkatkan keterlibatan dan pemahaman mereka terhadap fisika.



Gambar 1. Tantangan terbesar pembelajaran fisika di SMA (Sumber: hasil observasi Peneliti)

Keterbatasan laboratorium fisik dan metode pengajaran monoton dalam pembelajaran fisika di era digital saat ini dapat diatasi dengan inovasi teknologi. Penggunaan teknologi dalam pembelajaran menjadi keharusan di era *Society 5.0*, yakni era dimana teknologi memainkan peran penting disetiap aspek kehidupan manusia, termasuk pendidikan (10). *Society 5.0* adalah konsep yang menggambarkan kelompok masyarakat yang berpusat pada aktivitas yang didorong oleh teknologi, dan dirancang untuk mengatasi disrupsi yang disebabkan oleh Revolusi Industri 4.0 (11). Era ini menuntut sistem pendidikan untuk mengembangkan keterampilan abad ke-21, meliputi berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, komunikasi, dan literasi teknologi yang kuat(12,13). Analogi era *Society 5.0* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. What is Society 5.0? (Sumber : Adaptasi dan Modifikasi dari (14))

Metode pembelajaran fisika tradisional seringkali tidak memadai untuk mempersiapkan siswa menghadapi tuntutan era baru ini, sehingga diperlukan adopsi pendekatan pedagogis inovatif yang terintegrasi teknologi. Dalam konteks ini, simulasi PhET secara strategis diposisikan sebagai alat yang ampuh yang secara langsung dapat memfasilitasi transformasi pendidikan ini (15). PhET mendorong eksplorasi ilmiah, pemahaman konseptual, dan analisis kritis, yang merupakan keterampilan inti yang dituntut oleh *Society 5.0*. Dengan demikian, integrasi teknologi seperti PhET tidak hanya membekali siswa dengan pengetahuan konten dasar, tetapi juga dengan kemampuan adaptif, inovatif, dan pemecahan masalah yang sangat penting untuk tuntutan masyarakat di masa depan.

Menanggapi tantangan ini, simulasi interaktif berbasis PhET (*Physics Education Technology*) muncul sebagai media pembelajaran fisika yang dapat diaplikasikan di era perkembangan teknologi digital (16–18). PhET adalah kumpulan simulasi fisika berkualitas profesional yang dikembangkan oleh *University of Colorado Boulder* (19), tersedia secara gratis, dan didukung oleh media eksperimen berbasis penyelidikan yang variabelnya dapat dimanipulasi. Karakteristik utama PhET sebagai media simulasi yang efektif, yakni tingkat interaktivitas yang tinggi, kemampuan dalam memvisualisasikan fenomena abstrak seperti konsep gaya, medan magnet, gelombang, listrik dan banyak konsep fisika lainnya, penggunaan analogi yang lebih kontekstual pada fenomena fisika, proses eksperimen dapat dimanipulasi *real time*, dan desain yang mendukung pengalaman belajar inklusif memfasilitasi gaya belajar auditory dan visual. Hal inilah yang mendukung PhET dapat menggantikan laboratorium real melalui fitur simulasi interaktif (16).

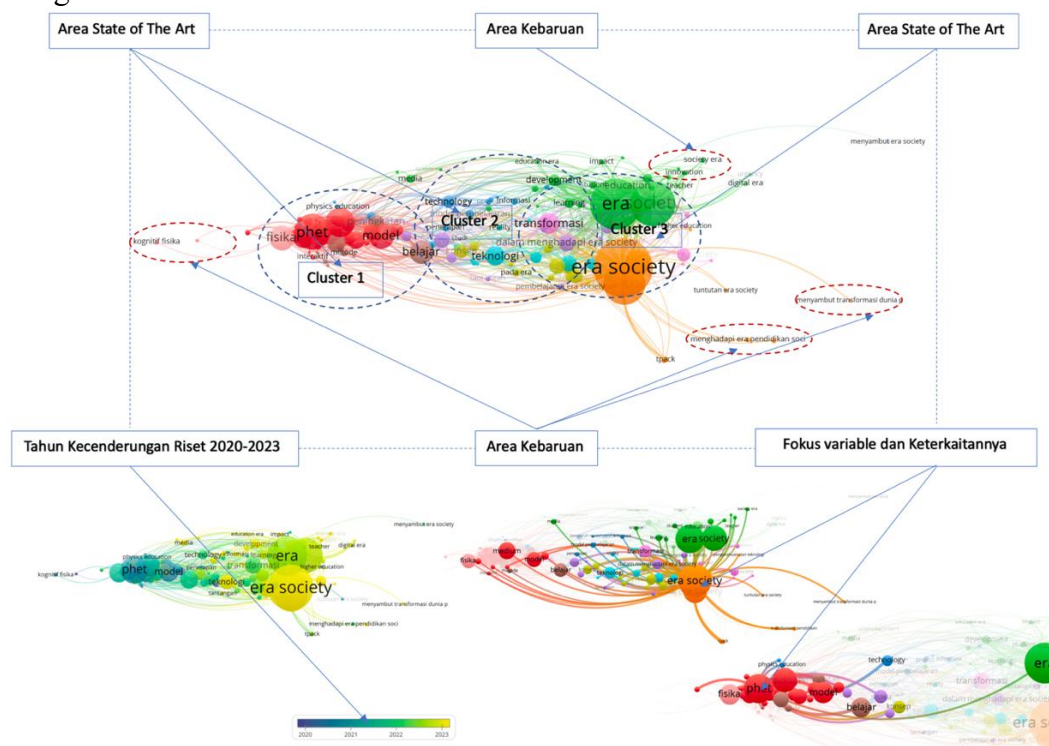
Fitur simulasi interaktif ini secara langsung berkontribusi pada keterlibatan belajar siswa (20). Simulasi PhET memungkinkan siswa untuk berinteraksi dengan lingkungan virtual sesuai kecepatan mereka sendiri dan gaya kognitif siswa (17), menyelidiki apa yang belum mereka pahami, dan membangun kerangka konseptual selayaknya peneliti terhadap konsep fisika yang sedang dipelajari. Proses inilah yang mampu mengubah konsep abstrak menjadi lebih konkret, memfasilitasi pemahaman konseptual yang lebih dalam dan mengembangkan pemikiran tingkat tinggi seperti berpikir kritis dan analitis (21,22). Selain itu, PhET juga berfungsi sebagai solusi alternatif atau pelengkap yang layak bagi sekolah yang memiliki keterbatasan atau ketiadaan peralatan laboratorium fisik (16,23), sehingga memungkinkan pengalaman praktikum virtual yang dapat diakses bahkan di lingkungan yang terbatas sumber daya.

Berbagai bukti empiris melalui penelitian terdahulu telah mendukung efektivitas simulasi PhET dalam pembelajaran fisika. Secara konsisten, penelitian menunjukkan bahwa PhET secara signifikan meningkatkan pemahaman konseptual siswa (24–27), meningkatkan minat belajar (23,28), meningkatkan keterampilan proses sains (29) dan mengembangkan kemampuan berpikir kritis (21,22,30,31), yang akan berdampak langsung pada hasil belajar fisika siswa (32,33). Meskipun simulasi PhET secara umum efektif dalam memfasilitasi pembelajaran fisika, beberapa studi menunjukkan bahwa efektivitasnya sangat bergantung pada struktur pembelajaran dan bimbingan pengajar. Penggunaan simulasi tanpa desain pedagogis yang jelas berpotensi menimbulkan eksplorasi yang dangkal dan tidak selalu menghasilkan dampak belajar yang bertahan lama dibandingkan laboratorium fisik, bahkan pada konteks tertentu tidak menunjukkan peningkatan hasil belajar yang signifikan. Namun demikian, PhET tetap terbukti unggul dalam membantu visualisasi konsep abstrak dan meningkatkan keterlibatan siswa ketika diintegrasikan secara terstruktur dalam pembelajaran.

Meskipun berbagai studi telah menegaskan efektivitas simulasi PhET dalam meningkatkan hasil belajar fisika dan mengatasi keterbatasan laboratorium nyata, integrasinya secara holistik dalam transformasi pembelajaran menuju *Society 5.0* masih menghadapi tantangan. Tantangan tersebut terutama terlihat pada pembelajaran fisika di sekolah menengah atas di Indonesia, yang masih didominasi pendekatan pedagogis konvensional dan tingginya tingkat abstraksi materi.

Analisis bibliometrik menggunakan VOSviewer memperkuat hal ini dengan menunjukkan bahwa meskipun kata kunci seperti “PhET,” “fisika,” “media,” dan “*learning outcomes*” membentuk klaster yang kuat (Cluster 1), keterkaitan langsung dengan terminologi seperti “transformasi,” “era society,” dan “kompetensi abad 21” yang tersebar di klaster lain (Cluster 3) masih minim. Jarak

spasial dan lemahnya keterhubungan antara variabel-variabel ini menandakan adanya celah riset yang relevan. Oleh karena itu, penting dilakukan kajian yang secara eksplisit mengintegrasikan PhET dalam kerangka transformasi pembelajaran fisika abad 21 untuk menjawab tuntutan Society 5.0 secara sistematis dan berbasis data. Hasil analisis keterkaitan variable menggunakan Vosviewer dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Analisis keterkaitan variable menggunakan Vosviewer

Berdasarkan hasil visualisasi bibliometrik menggunakan VOSviewer, dapat diidentifikasi lanskap penelitian terkait penggunaan simulasi PhET dalam pembelajaran fisika. Data menunjukkan bahwa kata kunci seperti "fisika", "PhET", "model", "interactive methods", "learning", "media", dan "educational technology" mendominasi Kluster 1 dan Kluster 2 dengan konektivitas tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa fokus utama riset selama periode 2020–2023 berada pada pengembangan model pembelajaran interaktif berbasis teknologi serta efektivitas media pembelajaran dalam meningkatkan hasil belajar siswa. Area ini dapat dikategorikan sebagai *State of the Art*, karena telah banyak diteliti dan menunjukkan konsistensi arah penelitian terkait pemanfaatan teknologi simulasi, khususnya PhET, dalam menjawab tantangan pembelajaran fisika yang cenderung abstrak dan sulit dipahami melalui metode konvensional.

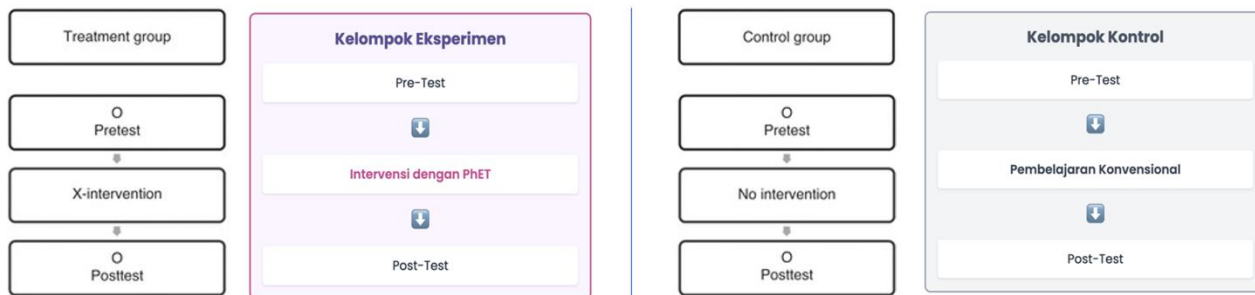
Namun demikian, analisis keterkaitan terminologi juga mengungkap adanya gap yang signifikan, khususnya terkait integrasi penggunaan PhET dengan transformasi pendidikan menuju Society 5.0. Istilah seperti “era society,” “transformasi,” dan “tuntutan abad 21” teridentifikasi dalam kluster dan posisi spasial yang berbeda dari cluster “PhET” dan “learning outcomes,” sehingga menunjukkan belum banyak penelitian yang secara eksplisit dan sistematis menempatkan PhET sebagai media inovatif dalam menjawab tuntutan transformasi pendidikan berbasis *Society 5.0*. yang berfokus dalam pengembangan kompetensi abad ke-21. Oleh karena itu, pada bagian area Kebaruan (*Novelty Area*), variabel "transformasi", "tuntutan era society", dan "kognitif fisika" muncul dalam posisi terpisah, namun tetap memiliki relevansi, menandakan adanya potensi kontribusi baru jika dilakukan integrasi kajian tersebut dengan pendekatan berbasis simulasi digital seperti PhET.

Dengan mengacu pada temuan tersebut, maka penelitian ini sangat strategis untuk dilakukan dan dapat mengisi gap yang ada. Didukung kebaruan riset yang terfokus pada penilaian efektivitas PhET terhadap hasil belajar kognitif fisika, tetapi juga mengintegrasikannya dalam kerangka transformasi pembelajaran era *Society 5.0*. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pembelajaran fisika dengan bantuan simulasi PhET yang interaktif dalam mendorong penguatan keterampilan kolaboratif, berpikir kritis, komunikasi, dan kreativitas siswa, yang dapat memberikan

kontribusi nyata dalam menyelaraskan arah pendidikan fisika dengan visi global pendidikan di era *Society 5.0*.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah kuasi-eksperimental dengan pendekatan *Nonequivalent Control Group Design* (34). Pemilihan desain ini didasarkan pada pertimbangan bahwa dalam pengaturan pembelajaran di sekolah, perlakuan secara acak atau random penuh terhadap sampel seringkali tidak mungkin atau tidak etis dilakukan (35). Namun, desain ini tetap memungkinkan penetapan hubungan sebab-akibat yang kuat untuk melihat pengaruh dengan membandingkan perubahan hasil belajar dalam kelompok eksperimen dan kontrol dari nilai *pretest* dan *posttest* tiap kelompok (36). Desain kuasi eksperimen dalam penelitian ini, dapat dilihat pada gambar berikut.



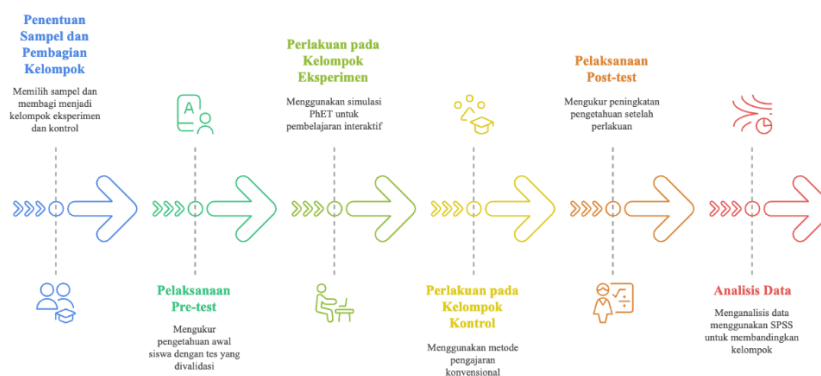
Gambar 4. *Nonequivalent Control Group Design* (Adaptasi dan Modifikasi (37))

Populasi penelitian adalah seluruh siswa kelas X di SMA Negeri 1 Watubangga. Sampel penelitian terdiri dari dua kelas dipilih secara *Cluster Random Sampling*. Pemilihan sampel dengan *Cluster Random* dilakukan untuk memastikan bahwa kelas yang dipilih memiliki karakteristik yang sebanding, dan latar belakang akademik dengan rerata nilai hasil belajar fisika yang sama (38,39). Satu kelas ditetapkan sebagai kelompok eksperimen dengan perlakuan simulasi PhET, yakni Kelas X_A terdiri dari n=32 siswa dan satu kelas lainnya sebagai kelompok kontrol dengan pembelajaran konvensional, yakni Kelas X_C terdiri dari n=30 siswa.

Instrumen utama berupa tes hasil belajar kognitif fisika yang memuat komponen berpikir kritis dan kreatif dalam pemecahan masalah, sesuai level C1-C4 pada taksonomi Bloom (40), yang telah melalui validasi menyeluruh. Validitas isi dinilai oleh ahli materi menggunakan Aiken's V (41,42), dengan nilai indeks Aiken's V = 0,89 yang menunjukkan tingkat validitas tinggi ($V > 0,75$) pada 18 butir instrumen. Validitas empiris dilakukan dengan analisis model Rasch (43,44), di mana 18 butir soal valid, memiliki nilai *Outfit Mean Square (Outfit MNSQ)* rentang 0,67–1,32 dan Z-Standard (ZSTD) 1,9 -1,8, serta korelasi point biserial antara 0,45–0,81, yang memenuhi kriteria item fit. Reliabilitas instrumen dihitung menggunakan *Cronbach's Alpha* (45,46) dengan nilai sebesar 0,84, menunjukkan konsistensi internal yang sangat baik ($\alpha > 0,70$) pada seluruh instrument valid yang diuji. Dengan demikian, instrumen dalam penelitian ini dapat dinyatakan valid dan reliabel untuk mengukur pengaruh penggunaan simulasi PhET terhadap hasil belajar fisika secara ilmiah dan akurat.

2.1. Prosedur Pengumpulan Data

Sebelum diberikan perlakuan, kedua kelompok diberikan *pretest* hasil belajar fisika dengan instrumen yang telah divalidasi. *Pretest* bertujuan untuk mengetahui hasil belajar awal siswa dalam memahami konsep fisika yang akan diajarkan sebelum adanya perlakuan. Secara detail prosedur pengumpulan data dalam penelitian ini, dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. Prosedur pengumpulan data penelitian

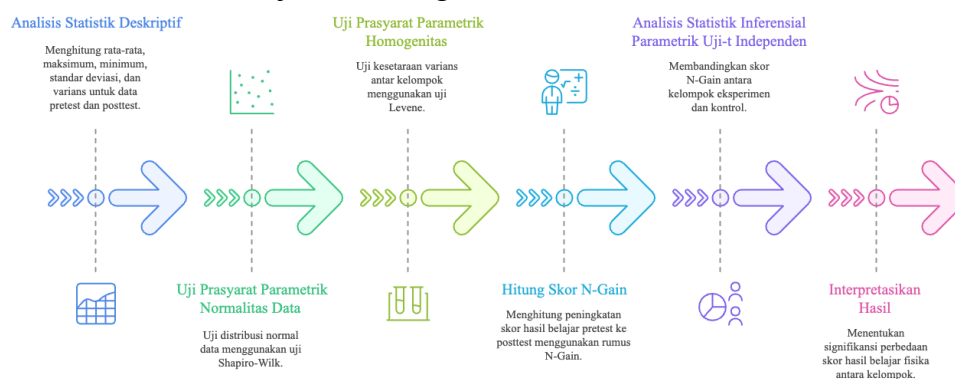
Selama fase intervensi, kelompok eksperimen mengikuti pembelajaran fisika berbasis *Problem Based Learning* (PBL) dengan pemanfaatan simulasi PhET secara sistematis selama empat minggu (delapan pertemuan) pada materi Gerak lurus dan Hukum Newton, sesuai capaian pembelajaran Kurikulum Merdeka yang dimodifikasi untuk konteks Society 5.0. Pembelajaran menekankan eksplorasi mandiri siswa melalui simulasi interaktif untuk melatih kreativitas, keterampilan sains, dan kemampuan berpikir kritis, dengan PhET berfungsi sebagai alat visualisasi fenomena abstrak, pengganti eksperimen laboratorium fisik, serta media pembelajaran kontekstual.

Sebaliknya, kelompok kontrol menerima pembelajaran konvensional melalui ceramah, penjelasan di papan tulis, dan pemecahan soal berbasis buku teks tanpa dukungan simulasi digital, dengan durasi, topik, dan materi yang disamakan pada kedua kelompok untuk menjaga validitas internal. Setelah seluruh sesi pembelajaran selesai, kedua kelompok diberikan posttest yang identik dengan pretest untuk mengevaluasi peningkatan hasil belajar siswa secara kuantitatif.

Data yang diperoleh dari *pretest* dan *posttest* dianalisis secara deskriptif statistic untuk menghitung skor peningkatan hasil belajar menggunakan formula *Normalized Gain (N-Gain)*. Selanjutnya, untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan antara kelompok eksperimen dan kontrol, dilakukan uji inferensial statistik menggunakan independent sample t-test dengan bantuan SPSS versi 25.

2.2. Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif dengan beberapa tahapan analisis, secara detail disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 6. Alur dan Teknik analisis data penelitian

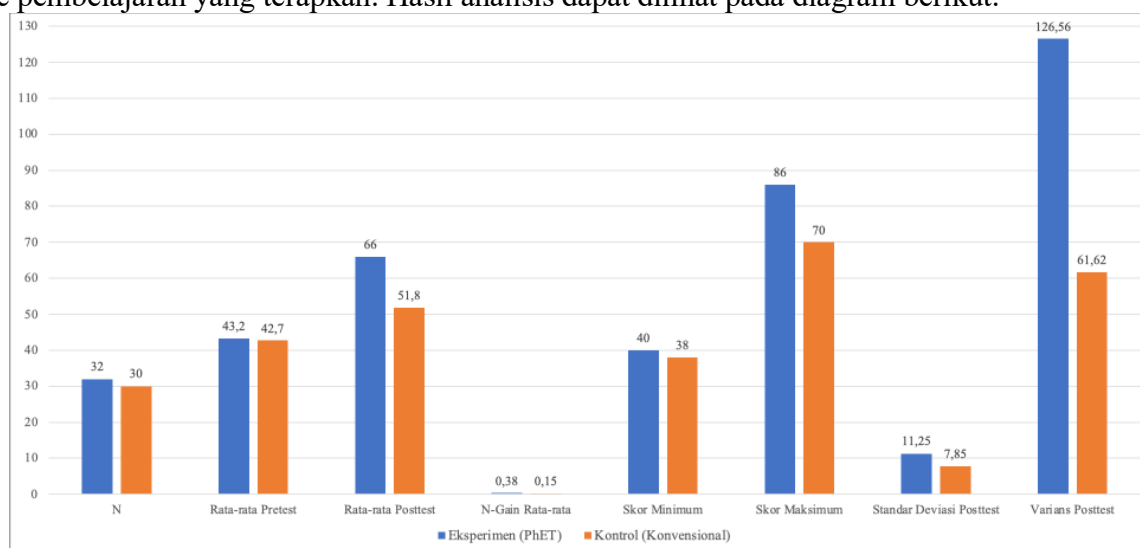
Analisis data dalam penelitian ini diawali dengan perhitungan statistik deskriptif terhadap hasil *pretest* dan *posttest* pada eksperimen dan kontrol. Statistik deskriptif meliputi nilai rata-rata, standar deviasi, skor minimum, skor maksimum, dan varians yang digunakan untuk memberikan gambaran umum mengenai distribusi data serta tendensi sentral dari tiap kelompok sebelum dan sesudah intervensi. Untuk mengukur peningkatan hasil belajar siswa secara proporsional, dilakukan perhitungan skor *N-Gain* (47–49), perhitungan ini memberikan ukuran peningkatan pembelajaran yang lebih akurat dibandingkan perbandingan skor deskriptif, karena mempertimbangkan posisi awal kemampuan siswa (49). Langkah selanjutnya adalah pengujian prasyarat untuk analisis inferensial, yang terdiri dari uji normalitas dan uji homogenitas.

Uji normalitas dilakukan terhadap distribusi skor *N-Gain* menggunakan uji *Shapiro-Wilk* (50,51), uji homogenitas varians menggunakan uji *Levene* (52,53). Analisis inferensial untuk menguji signifikansi perbedaan peningkatan hasil belajar antara kelompok eksperimen dan kontrol, dilakukan statistik parametrik Uji-t independen terhadap skor *N-Gain* (54). Seluruh proses analisis data dibantu menggunakan aplikasi pengolahan data SPSS Versi 29.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Analisis Statistik Deskriptif

Berdasarkan analisis statistik deskriptif, penelitian ini melibatkan dua kelompok sampel yang terdiri dari 32 siswa pada kelompok eksperimen dan 30 siswa pada kelompok kontrol. Kedua kelompok telah dipilih secara *cluster random* dari kelas X di SMA Negeri 1 Watubangga dengan mempertimbangkan karakteristik akademik yang relatif sebanding. Jumlah sampel sudah memadai untuk analisis kuantitatif dan dapat memberikan dasar yang kuat dalam mengidentifikasi perbedaan hasil belajar antara dua metode pembelajaran yang diterapkan. Hasil analisis dapat dilihat pada diagram berikut.



Gambar 7. Diagram perbandingan hasil analisis statistik deskriptif pada tiap kelompok

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata skor *N-Gain* pada kelompok eksperimen adalah 0,38 yang termasuk kategori sedang, sedangkan pada kelompok kontrol hanya sebesar 0,15 yang berada dalam kategori rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa siswa yang belajar menggunakan simulasi PhET mengalami peningkatan hasil belajar yang lebih signifikan dibandingkan yang belajar dengan metode konvensional. Rata-rata skor ini mencerminkan efektivitas integrasi teknologi interaktif dalam mendukung pemahaman konsep fisika yang bersifat abstrak, serta memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna dan kontekstual.

Lebih lanjut, skor maksimum dan minimum pada masing-masing kelompok juga memperlihatkan perbedaan. Pada kelompok eksperimen, skor minimum adalah 40 dan maksimum mencapai 86, menunjukkan bahwa seluruh siswa mengalami peningkatan, meskipun dalam derajat yang bervariasi. Sebaliknya, pada kelompok kontrol skor minimum adalah 38 yang berarti tidak ada peningkatan sama sekali pada sebagian siswa, dengan skor maksimum hanya mencapai 70. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan pembelajaran konvensional cenderung kurang mampu mendorong peningkatan signifikan, terutama bagi siswa dengan kemampuan awal yang rendah.

Dari segi sebaran data, kelompok eksperimen memiliki standar deviasi sebesar 11,25 dengan varians 126,56. Varians cukup besar pada kelompok eksperimen, menunjukkan persebaran nilai yang luas akibat aktivitas eksploratif dalam PhET. Pada kelompok kontrol menunjukkan standar deviasi sebesar 7,85 dan varians 61,62. Varians lebih rendah pada kelompok kontrol, menunjukkan hasil yang lebih seragam namun peningkatan rendah. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat keragaman hasil belajar dalam kelompok eksperimen dan kontrol, namun peningkatan terjadi secara signifikan pada kelompok eksperimen. Dispersi yang lebih besar pada kelompok eksperimen ini mencerminkan bahwa pendekatan berbasis PhET memberikan peluang eksplorasi yang lebih luas bagi

siswa dengan berbagai tingkat kemampuan.

Oleh karena itu, Secara keseluruhan, hasil statistik deskriptif ini menunjukkan bahwa integrasi simulasi PhET dalam pembelajaran fisika berkontribusi positif dalam meningkatkan hasil belajar siswa. Temuan ini sekaligus mendukung asumsi terkait urgensi transformasi pembelajaran fisika berbasis teknologi yang relevan dengan tuntutan era Society 5.0, yaitu menciptakan pembelajaran yang interaktif, bermakna, dan berorientasi pada penguasaan keterampilan abad ke-21. Untuk menguji asumsi ini, signifikansi perbedaan yang mengindikasikan pengaruh penggunaan PhET simulasi, dapat diuji dengan menggunakan analisis statistik inferensial. Namun, sebelum melakukan statistik inferensial parametrik, dilakukan analisis prasyarat normalitas data dan homogenitas.

3.2. Hasil Analisis Uji Prasyarat

Uji normalitas dilakukan terhadap distribusi skor *N-Gain* menggunakan uji *Shapiro-Wilk* (50,51), karena jumlah sampel relatif kecil (<35). Hasil uji menunjukkan bahwa data berdistribusi normal ($p>0,05$), sehingga memenuhi asumsi dasar penggunaan uji parametrik. Selain itu, uji homogenitas varians menggunakan uji *Levene* (52,53) menunjukkan bahwa varians antar kelompok tidak berbeda secara signifikan ($p>0,05$), yang mengindikasikan bahwa kedua kelompok memiliki tingkat keberagaman data yang setara sebelum intervensi dilakukan. Secara lengkap dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Analisis Normalitas Data *N-Gain* pada Tiap Kelompok

Kelompok	N	Statistik Shapiro-Wilk	Sig. (p-value)	Interpretasi
Eksperimen	32	0,972	0,451	Data berdistribusi normal
Kontrol	30	0,968	0,389	Data berdistribusi normal

Tabel 2. Perbandingan Hasil Analisis Homogenitas Data *N-Gain* pada Tiap Kelompok

Variabel yang Diuji	F Hitung	Sig. (p-value)	Interpretasi
Skor <i>N-Gain</i>	2.317	0.134	Varians antar kelompok homogen

3.3. Hasil Analisis Uji Inferensial

Untuk mengetahui signifikansi perbedaan peningkatan hasil belajar antara kelompok eksperimen dan kontrol, dilakukan uji-t independen terhadap skor *N-Gain*. Secara detail hasil uji t-independen dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Analisis Homogenitas Data *N-Gain* pada Tiap Kelompok

Variabel	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% CI Lower	95% CI Upper
N-Gain	7.537	60	0.000	0.23	0.0305	0.169	0.291

Dari tabel terlihat nilai signifikansi (*Sig. 2-tailed*) = $0.000 < 0.05$, menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara rata-rata skor *N-Gain* kelompok eksperimen dan kontrol. Rata-rata selisih *N-Gain* pada *Mean Difference* sebesar 0.23 menunjukkan bahwa penggunaan simulasi PhET memberikan peningkatan hasil belajar yang jauh lebih baik dibanding metode konvensional. *Confidence Interval* (CI) untuk perbedaan rata-rata berada antara 0.169 – 0.291, memperkuat keyakinan bahwa perbedaan ini bukan kebetulan statistik.

Hasil uji-t independen ini secara keseluruhan menunjukkan bahwa penggunaan simulasi PhET secara signifikan meningkatkan hasil belajar fisika dibandingkan pembelajaran konvensional. Ini mendukung asumsi bahwa simulasi interaktif berbasis teknologi mampu mentransformasi proses belajar fisika. Dengan demikian, penggunaan simulasi PhET terbukti lebih efektif dalam meningkatkan hasil belajar fisika siswa dibandingkan dengan metode pembelajaran konvensional, sekaligus menunjukkan potensinya dalam menjawab tantangan transformasi pembelajaran fisika di era Society 5.0.

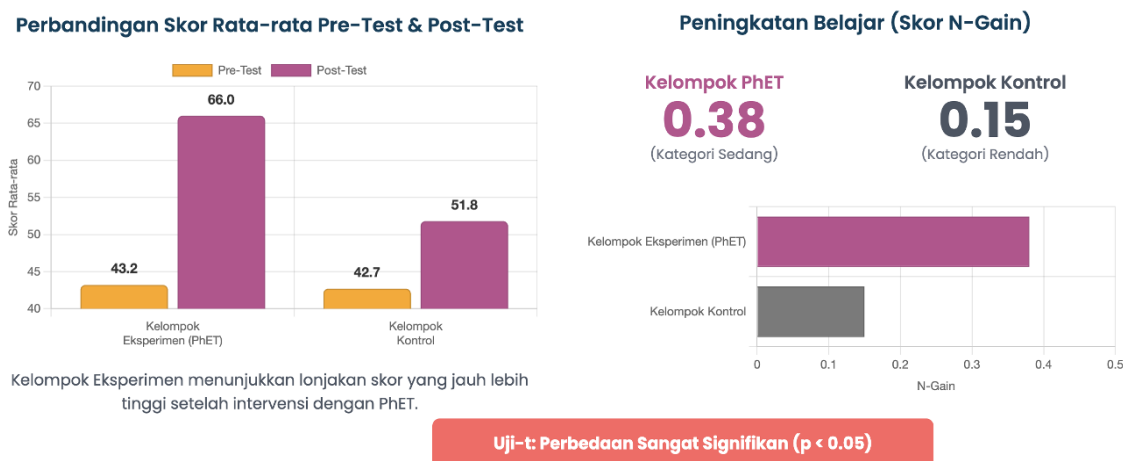
3.4. Pembahasan

Pengaruh Penggunaan Phet Simulasi Terhadap Peningkatan Hasil Belajar Fisika: Upaya Menjawab Tantangan Transformasi ...
I Gede Purwana Edi Saputra, Surya Nigsih, Triani, Bardan Bulaka, Rina Sardiana Sari

Temuan penelitian ini secara jelas menunjukkan bahwa penggunaan simulasi PhET secara signifikan meningkatkan hasil belajar fisika siswa kelas X di SMA Negeri 1 Watubangga. Peningkatan rerata skor hasil belajar yang signifikan pada kelompok eksperimen dibandingkan dengan kelompok kontrol dapat diartikan sebagai bentuk optimalisasi pada inovasi karakteristik dan keunggulan pedagogis yang ditawarkan oleh simulasi PhET. Temuan ini menjawab permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ,yakni bagaimana pembelajaran fisika di tingkat SMA masih menghadapi berbagai hambatan, seperti:

1. Sifat konsep fisika yang abstrak, sulit divisualisasikan oleh siswa;
2. Metode pengajaran yang masih berpusat pada guru, kurang interaktif, dan belum mengoptimalkan teknologi;
3. Keterbatasan fasilitas laboratorium, yang berdampak pada rendahnya pemahaman konsep dan hasil belajar;
4. Tantangan dalam menjawab transformasi pendidikan abad ke-21, khususnya pada era Society 5.0 yang menuntut pendekatan pembelajaran berbasis teknologi dan *student centered*.

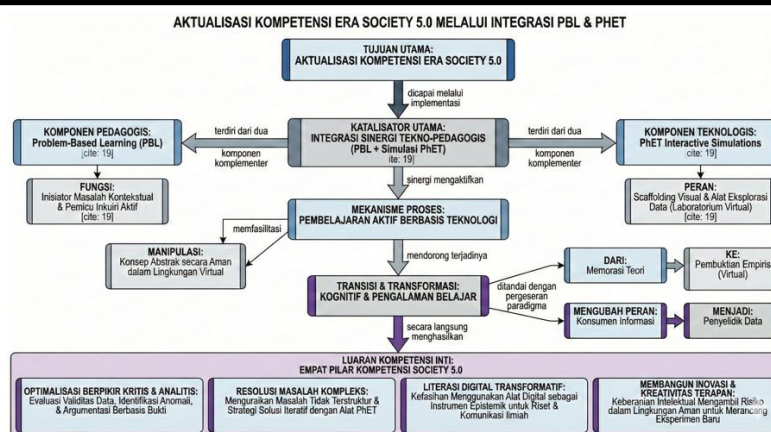
Hasil uji-t ini menunjukkan bahwa integrasi simulasi PhET ke dalam proses pembelajaran mampu menjawab permasalahan tersebut secara nyata. Visualisasi interaktif yang ditawarkan PhET memungkinkan siswa untuk mengamati, memanipulasi, dan mengeksplorasi konsep-konsep fisika secara konkret, meskipun tanpa laboratorium fisik yang lengkap. Ini juga mendukung pendekatan *student centered learning* dan *active learning* yang lebih relevan dalam konteks kurikulum Merdeka dan pendidikan berbasis teknologi. Rangkuman hasil *N-Gain* dan uji-t dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 8. Rangkuman hasil analisis statistik deskriptif dan inferensial

Peningkatan hasil belajar siswa pada kelompok eksperimen lebih signifikan karena simulasi PhET memiliki keunggulan dalam menyajikan konsep-konsep fisika seperti medan listrik, gelombang, atau dinamika partikel dalam bentuk visual yang dinamis dan manipulatif. Siswa tidak hanya melihat fenomena, tetapi juga dapat memodifikasi variabel, mengamati akibatnya, dan menarik kesimpulan secara mandiri. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pembelajaran aktif yang menekankan eksplorasi, pemecahan masalah, dan refleksi, sehingga mendorong keterlibatan kognitif yang lebih dalam. Fitur interaktif dalam PhET juga memberikan umpan balik langsung, memungkinkan siswa mengoreksi miskonsepsi secara *real time* dan membentuk pemahaman konseptual yang lebih kuat.

Jika dikaitkan dengan kerangka *Society 5.0*, dampak penggunaan PhET tidak hanya terbatas pada peningkatan nilai akademik, tetapi juga secara aktif membentuk kompetensi inti yang dibutuhkan di masa depan. Terdapat empat keterampilan utama abad ke-21 yang didorong oleh PhET: berpikir kritis, pemecahan masalah, literasi digital, serta inovasi dan kreativitas. Melalui eksperimen virtual yang disediakan PhET, siswa dilatih untuk menganalisis data, mengembangkan hipotesis, dan mengambil keputusan berbasis bukti. Ini secara langsung mengasah kemampuan berpikir kritis dan keterampilan pemecahan masalah siswa. Secara keseluruhan dampak pemanfaatan PhET di era *Society 5.0* dalam penelitian ini dapat dilihat pada peta konsep berikut.



Gambar 9. Dampak implementasi simulai PhET untuk transformasi *Society 5.0*

Penggunaan PhET yang berbasis digital mendorong literasi digital siswa, karena mereka harus terbiasa menggunakan teknologi untuk belajar secara mandiri. Selain itu, fleksibilitas eksplorasi dalam simulasi memungkinkan siswa menciptakan skenario belajar baru, yang mendorong inovasi dan kreativitas dua keterampilan yang sangat ditekankan dalam *Society 5.0*, di mana manusia dan teknologi hidup berdampingan dalam ekosistem yang berorientasi pada solusi. Hasil penelitian ini juga konsisten dengan studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa PhET dapat meningkatkan motivasi belajar, pemahaman konseptual, dan hasil belajar akademik secara keseluruhan (55–60).

Meskipun menunjukkan hasil yang menjanjikan, penelitian ini memiliki keterbatasan pada desain kuasi-eksperimental, faktor ketersediaan perangkat dan konektivitas internet, serta konteks penelitian yang terbatas pada satu sekolah dan satu tingkat kelas sehingga membatasi generalisasi temuan. Namun demikian, hasil penelitian menegaskan bahwa integrasi simulasi PhET dalam pembelajaran fisika merupakan strategi transformatif yang tidak hanya bersifat inovatif secara teknologi, tetapi juga berpotensi membentuk pembelajar yang kritis, adaptif, dan kreatif dalam menghadapi tantangan era *Society 5.0*.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1. Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan simulasi PhET berpengaruh positif dan signifikan terhadap peningkatan hasil belajar fisika siswa kelas X di SMA Negeri 1 Watubangga. Temuan ini menegaskan efektivitas PhET dalam memvisualisasikan konsep fisika yang abstrak, mendorong pembelajaran aktif, dan meningkatkan pemahaman konseptual siswa. Lebih lanjut, integrasi PhET berkontribusi pada penguatan keterampilan berpikir kritis dan analitis yang relevan dengan tuntutan transformasi pendidikan di era *Society 5.0*, sehingga layak dipertimbangkan sebagai strategi pembelajaran fisika yang efektif dan berkelanjutan.

4.2. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan desain eksperimental yang lebih kuat, seperti *Randomized Controlled Trials*, untuk memperkuat inferensi dan generalisasi temuan, serta mengeksplorasi dampak jangka panjang integrasi PhET terhadap hasil belajar dan keterampilan abad ke-21. Selain itu, pengembangan materi pendukung yang lebih komprehensif, termasuk lembar kerja siswa terintegrasi dan panduan penggunaan yang lebih rinci, diperlukan untuk mengoptimalkan efektivitas simulasi PhET dalam pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Pratiwi SN, Cari C, Aminah NS. Pembelajaran IPA abad 21 dengan literasi sains siswa. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika*. 2019 Oct;9(1):34-42. Available from: <https://jurnal.uns.ac.id/jmpf/article/view/31612>
- Suprpto N. Do We Experience Misconceptions?: An Ontological Review of Misconceptions in Science. 2020;1(2):50–5. Available from: <https://doi.org/10.46627/sipose.v1i2.24>

3. Guerra-Reyes F, Guerra-Dávila E, Naranjo-Toro M, Basantes-Andrade A, Guevara-Betancourt S. Misconceptions in the learning of natural sciences: A systematic review. *Education Sciences*. 2024 May 6;14(5):497. Available from: <https://www.mdpi.com/2227-7102/14/5/497/htm>
4. Saputra IGPE. Penguasaan Konsep Fisika Siswa Menggunakan Pendekatan Konflik Kognitif pada Materi Gerak Lurus di SMK Negeri 2 Watubangga. *JPFT (Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online)* [Internet]. 2020 Dec 30 [cited 2021 Jun 29];8(3). Available from: <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/EPFT/article/view/17093>
5. Khoirunnisa R, Syuhendri, Kistiono, Afifa M. Misconceptions of High School Students on Motion and Force Using the Force Concept Inventory (FCI). *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*. 2024 May 25;10(5):2711–20.
6. Rahmawati DU, Jumadi, Kuswanto H, Oktaba IA. Identification of students' misconception with isomorphic multiple choices test on the force and newton's law material. *J Phys Conf Ser* [Internet]. 2020 Jan 1 [cited 2025 Apr 30];1440(1):012052. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1440/1/012052>
7. Cahyaningrum R, Hidayat A, Sutopo S. Analisis Pemahaman Konsep Fisika Mahasiswa pada Materi Induksi Elektromagnetik. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, dan Pengembangan* [Internet]. 2018 Oct 1 [cited 2025 Apr 30];3(10):488131. Available from: <https://www.neliti.com/publications/488131/>
8. Sari AL, Parno & Taufiq A. Kemampuan berpikir kritis dan pemahaman konsep fisika siswa sma pada materi hukum Newton. In *Prosiding Seminar Nasional Pend. IPA Pascasarjana Universitas Negeri Malang* 2016.
9. Sofiani E. Pengaruh model inkuiri terbimbing (guided inquiry) terhadap hasil belajar fisika siswa pada konsep listrik dinamis. 2011 [cited 2025 May 28]; Available from: <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/1468>
10. Rahmawati M, Ruslan A, Bandarsyah D. The Era of Society 5.0 as the unification of humans and technology: A literature review on materialism and existentialism. *Jurnal Sosiologi Dialektika*. 2021 Sep 7;16(2):151.
11. Sariwardani A. Manajemen Pendidikan Di Era Revolusi Industri 4.0 Dan Society 5.0. *Central Publisher* [Internet]. 2023 [cited 2024 Dec 26];1(9):1035–48. Available from: <https://centralpublisher.co.id/jurnalcentralpublisher/index.php/Publish/article/view/201>
12. Mytra P, Wardawaty A, Kusnadi R. Society 5.0 in education: Higher order thinking skills. In *BIS-HSS 2020: Proceedings of the 2nd Borobudur International Symposium on Humanities and Social Sciences, BIS-HSS 2020, 18 November 2020, Magelang, Central Java, Indonesia 2021 Sep 27 (Vol. 242)*. European Alliance for Innovation.
13. Rawat R, Goyal HR, Sharma S. Artificial Narrow Intelligence Techniques in Intelligent Digital Financial Inclusion System for Digital Society. 2023 6th International Conference on Information Systems and Computer Networks, *ISCON 2023*.
14. Deguchi A, Hirai C, Matsuoka H, Nakano T, Oshima K, Tai M, et al. What is society 5.0? Society 50: A People-centric Super-smart Society [Internet]. 2020 Jan 1 [cited 2025 Jul 8];1–23. Available from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-2989-4_1
15. Saputra IGPE. Development of E-Learning Physics Using Google Sites Assisted by Quizizz and PhET Simulations. *Navigation Physics : Journal of Physics Education* [Internet]. 2025 Jun 30 [cited 2025 Jul 7];7(1):93–106. Available from: <https://journal.unindra.ac.id/index.php/jpeu/article/view/4129>
16. Wirda W, Mauvizar E, Lubis SPW, Muzana SR. Utilization of PhET Simulations in Replacing Real Laboratories for Physics Learning. *Radiasi : Jurnal Berkala Pendidikan Fisika*. 2023 Sep 30;16(2):71–9.
17. Faizah SN, Dina LN, Kartiko A, Maarif MA, Hasan MS. Student Acceptance Study of PhET Simulation with an Expanded Technology Acceptance Model Approach. *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)*. 2023 Dec;5(1):279-90. Available from: <https://journal.yrpiiku.com/index.php/jaets/article/view/3041>

18. Toma MJ. The pedagogical opportunities of PhET Interactive Simulations in secondary science education in Bangladesh [Internet]. open.library.ubc.ca; 2023. Available from: <https://open.library.ubc.ca/soa/cIRcle/collections/ubctheses/24/items/1.0434198>
19. Perkins K, Adams W, Dubson M, Finkelstein N, Reid S, Wieman C, et al. PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. Phys Teach [Internet]. 2005 Dec 22 [cited 2023 Mar 22];44(1):18. Available from: <https://aapt.scitation.org/doi/abs/10.1119/1.2150754>
20. Rizaldi DR, Jufri AW, Jamaluddin J. PhET: Simulasi Interaktif Dalam Proses Pembelajaran Fisika. Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan. 2020 May 9;5(1):10–4.
21. Drastisianti A, Dewi AK, Alighiri D. Effectiveness of Guided Inquiry Learning With PhET Simulation to Improve Students' Critical Thinking Ability and Understanding of Reaction Rate Concepts. International Journal of Pedagogy and Teacher Education [Internet]. 2024 Dec 21 [cited 2025 Jun 19];8(2):235. Available from: <https://jurnal.uns.ac.id/ijpte/article/view/93924>
22. Putranta H, Wilujeng I. Physics learning by PhET simulation-assisted using problem based learning (PBL) model to improve students' critical thinking skills in work and energy chapters in MAN 3 Sleman. InAsia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching 2019 Aug 1 (Vol. 20, No. 1, pp. 1-44). The Education University of Hong Kong, Department of Science and Environmental Studies.
23. Badriyah B, Dwi Setiyo R, Firdausi Z El, Nuqia K, Ketut Mahardika I, Baktiarso S. Manfaat PhET Simulasi Dalam Menopang Sarana dan Prasarana Laboratorium Fisika Untuk Meningkatkan Minat Belajar Siswa. Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan [Internet]. 2023 Jan 24 [cited 2025 Jun 19];9(2):84–90. Available from: <https://jurnal.peneliti.net/index.php/JIWP/article/view/3579>
24. Nurulhidayah M, Lubis P. Pengaruh model pembelajaran discovery learning menggunakan media simulasi PhET terhadap pemahaman konsep fisika siswa. Jurnal Pendidikan Fisika [Internet]. 2020 [cited 2024 Apr 7]; Available from: <https://ojs.fkip.ummetro.ac.id/index.php/fisika/article/view/2461>
25. Eveline E, Wilujeng I, Kuswanto H. The effect of scaffolding approach assisted by PhET simulation on students' conceptual understanding and students' learning independence in physics. InJournal of Physics: Conference Series 2019 Jun 1 (Vol. 1233, No. 1, p. 012036). IOP Publishing.
26. Fitriani A. Comparison of the Effect of Using Virtual Laboratory Based on PhET Simulation and Real Laboratory in Improving Mastery of Electronic Concepts of Physics Education Students. Tekno - Pedagogi : Jurnal Teknologi Pendidikan [Internet]. 2024 Oct 7 [cited 2025 May 29];14(2):22–8. Available from: <https://online-journal.unja.ac.id/pedagogi/article/view/37487>
27. Theasy Y, Bustan A, Nawir M, Kunci K. Penggunaan Media Laboratorium Virtual PhET Simulation untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Fisika Mahasiswa pada Mata Kuliah Eksperimen Fisika Sekolah. Variabel [Internet]. 2021 Oct 31 [cited 2025 Jul 6];4(2):39–45. Available from: <https://journal.stkipsingkawang.ac.id/index.php/jvar/article/view/2607>
28. Badriyah B, Setiyo RD, Firdausi Z El, Nuqia K, Mahardika IK, Baktiarso S. Manfaat PhET Simulasi Dalam Menopang Sarana dan Prasarana Laboratorium Fisika Untuk Meningkatkan Minat Belajar Siswa. Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan [Internet]. 2023 Jan 24 [cited 2025 Jun 10];9(2):84–90. Available from: <https://jurnal.peneliti.net/index.php/JIWP/article/view/3579>
29. Taibu R, Mataka LL, Shekoyan V. Using PhET simulations to improve scientific skills and attitudes of community college students [Internet]. academicworks.cuny.edu; 2021. Available from: https://academicworks.cuny.edu/qb_pubs/81/
30. Qahfi BA, Rahmatillah. Penerapan Model Pembelajaran Inkuiri Terbimbing Berbantuan Simulasi PhET Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa di SMAN 1 Donggo. Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA [Internet]. 2022 Jun 7 [cited 2025 Jun 11];5(2):133–9. Available from: <https://jppipa.unram.ac.id/index.php/jpmipi/article/view/1591>
31. Drastisianti A, Dewi AK, Alighiri D. Effectiveness of Guided Inquiry Learning With PhET Simulation to Improve Students' Critical Thinking Ability and Understanding of Reaction Rate

- Concepts. International Journal of Pedagogy and Teacher Education [Internet]. 2024 Dec 21 [cited 2025 Jun 19];8(2):235. Available from: <https://jurnal.uns.ac.id/ijpte/article/view/93924>
32. Arifin MM, Prastowo SB, Harijanto A. Efektivitas Penggunaan Simulasi Phet Dalam Pembelajaran Online Terhadap Hasil Belajar Siswa. Jurnal Pembelajaran Fisika [Internet]. 2022 Apr 1 [cited 2023 Mar 22];11(1):16–27. Available from: <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/JPF/article/view/30612>
33. Muzana SR, Lubis SPW, Wirda W. Penggunaan Simulasi Phet Terhadap Efektifitas Belajar IPA. Jurnal Dedikasi Pendidikan [Internet]. 2021 Jan 31 [cited 2023 Mar 22];5(1):227–36. Available from: <http://103.52.61.43/index.php/dedikasi/article/view/1587>
34. Abraham I, Supriyati Y. Desain Kuasi Eksperimen Dalam Pendidikan: Literatur Review. Jurnal Ilmiah Mandala Education. 2022 Aug 27;8(3).
35. Hastjarjo TD. Rancangan Eksperimen-Kuasi. Buletin Psikologi [Internet]. 2019 Dec 5 [cited 2025 Jun 11];27(2):187–203. Available from: <https://journal.ugm.ac.id/buletinpsikologi/article/view/38619>
36. Hastjarjo DT. Rancangan Eksperimen-Kuasi. Buletin Psikologi [Internet]. 2019 Dec 5 [cited 2025 Jul 7];27(2):187–203. Available from: <https://journal.ugm.ac.id/buletinpsikologi/article/view/38619>
37. Denny M, Denieffe S, O’Sullivan K. 15 Non-equivalent Control Group Pretest–Posttest Design in Social and Behavioral Research. [Internet]. 2023 May 25 [cited 2025 Jul 7];314–32.
38. Sedgwick P. Cluster sampling. BMJ [Internet]. 2014 Jan 31 [cited 2025 Jul 8];348. Available from: <https://www.bmj.com/content/348/bmj.g1215>
39. Smith JL, Sturrock HJW, Olives C, Solomon AW, Brooker SJ. Comparing the Performance of Cluster Random Sampling and Integrated Threshold Mapping for Targeting Trachoma Control, Using Computer Simulation. 2013 [cited 2025 Jul 8];7(8):e2389. Available from: <https://journals.plos.org/plosntds/article?id=10.1371/journal.pntd.0002389>
40. Krathwohl DR. A revision of bloom’s taxonomy: An overview. Vol. 41, Theory into Practice. Ohio State University Press; 2002. p. 212–8.
41. Nabil NRA, Wulandari I, Yamtinah S, Ariani SRD, Ulfa M. Aiken Index Analysis to Determine The Contents Validity of The Minimum Competency Assessment Instrument Based on Chemical Science Context. Jurnal Penelitian Pendidikan [Internet]. 2022 [cited 2025 Jul 8];25(2):184–91. Available from: <http://jurnal.uns.ac.id/paedagogia>
42. Helmiyatun, Taqiudin M, Ahmad. Content Validity of Student Perception Instrument on School Educational Management. Journal of Practice Learning and Educational Development [Internet]. 2025 Feb 25 [cited 2025 Jul 8];5(1):93–103. Available from: <https://digitalpress.gaes-edu.com/index.php/jpled/article/view/422>
43. Andrich D. The Rasch Model Explained. Applied Rasch Measurement: A Book of Exemplars 2005 [cited 2025 Jul 8];27–59. Available from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-3076-2_3
44. Glas CAW, Verhelst ND. Testing the Rasch Model. Rasch Models [Internet]. 1995 [cited 2025 Jul 8];69–95. Available from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-4230-7_5
45. Cortina JM. What Is Coefficient Alpha? An Examination of Theory and Applications. Journal of Applied Psychology. 1993;78(1):98–104.
46. Amirrudin M, Nasution K, Supahar S. Effect of Variability on Cronbach Alpha Reliability in Research Practice. Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi. 2021 Dec 23;17(2):223–30. Available from: <http://journal-old.unhas.ac.id/index.php/jmsk/article/view/11655>
47. Sukarelawa MI, Indratno TK, Ayu SM. N-Gain vs Stacking : Analisis Perubahan Abilitas Peserta Didik dalam Desain One Group Pretest-Posttest [Internet]. 1st ed. Vol. 1. Yogyakarta: Penerbit Suryacahya Universitas Ahmad Dahlan; 2024 [cited 2025 Jul 9]. 1–53 p. Available from: <https://eprints.uad.ac.id/60868/1/Layout--N-Gain%20-%20Press.pdf>
48. Bao L. Theoretical comparisons of average normalized gain calculations. American journal of physics. 2006 Oct 1;74(10):917–22.

49. Bonate PL. Analysis of Pretest-Posttest Designs. Analysis of Pretest-Posttest Designs. 2000 May 12;
50. Hanusz Z, Tarasinska J, Zielinski W. Shapiro–Wilk Test with Known Mean. REVSTAT-Statistical Journal [Internet]. 2016 Feb 25 [cited 2025 Jul 9];14(1):89–100–89–100. Available from: <https://revstat.ine.pt/index.php/REVSTAT/article/view/180>
51. González-Estrada E, Cosmes W. Shapiro–Wilk test for skew normal distributions based on data transformations. J Stat Comput Simul [Internet]. 2019 Nov 22 [cited 2025 Jul 9];89(17):3258–72. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00949655.2019.1658763>
52. O’Neill ME, Mathews K. A weighted least squares approach to Levene’s test of homogeneity of variance. Aust N Z J Stat [Internet]. 2000 Mar 1 [cited 2025 Jul 9];42(1):81–100.
53. O’Neill ME, Mathews KL. Levene Tests of Homogeneity of Variance for General Block and Treatment Designs. Biometrics [Internet]. 2002 Mar 1 [cited 2025 Jul 9];58(1):216–24. Available from: <https://dx.doi.org/10.1111/j.0006-341X.2002.00216.x>
54. Widhiarso W. Mengaplikasikan Uji-t untuk Membandingkan Gain Score antar Kelompok dalam Eksperimen. Yogyakarta; 2011.
55. Prastika E, Purwanto A, Nirwana N. Pengaruh pendekatan interactive conceptual instruction (ici) berbantuan simulasi phet terhadap hasil belajar siswa. Jurnal Kumparan Fisika. 2020;3(2):141-50. https://ejournal.unib.ac.id/kumparan_fisika/article/view/11878
56. Putri EM, Koto I, Putri DH. Peningkatan keterampilan proses sains dan penguasaan konsep gelombang cahaya dengan penerapan model inkuiri berbantuan simulasi phet di kelas xi mipa e sman 2 kota bengkulu. Jurnal Kumparan Fisika. 2018;1(2):46-52. Available from: https://ejournal.unib.ac.id/kumparan_fisika/article/view/6229
57. Agusmin R, Nirwana N, Rohadi N. Peningkatan Motivasi dan Hasil Belajar Siswa dengan Model Problem Based Learning Berbantuan Simulasi PhET di Kelas XI IPA-C SMAN 6 Kota Bengkulu. Jurnal Kumparan Fisika [Internet]. 2018 Oct 18 [cited 2025 Jul 9];1(2 Agustus):53–9. Available from: https://ejournal.unib.ac.id/kumparan_fisika/article/view/6230
58. Puspitasari I, Susilawati E, Taman Siswa Bima S. Pengaruh Penggunaan Software Phet Sebagai Media Pembelajaran terhadap Hasil Belajar Fisika Ditinjau dari Kemampuan Awal Siswa Kelas X IPA SMA Negeri 1 Palibelo Tahun Ajaran 2017/2018. JURNAL PENDIDIKAN MIPA [Internet]. 2018 Jun 30 [cited 2025 Jul 9];8(1):29–38. Available from: <https://www.ejournal.tsb.ac.id/index.php/jpm/article/view/48>
59. Saputra R, Susilawati S, Verawati NNSP. Pengaruh Penggunaan Media Simulasi Phet (Physics Education Technology) Terhadap Hasil Belajar Fisika. Jurnal Pijar Mipa [Internet]. 2020 Mar 1 [cited 2025 Jul 9];15(2):110–5. Available from: <http://jurnal.fkip.unram.ac.id/index.php/JPM/article/view/1459>
60. Subiki S, Hamidy AN, Istighfarini ET, Suharsono FYH, Putri SFD. Pengaruh Media Pembelajaran Phet Simulation Terhadap Hasil Belajar Siswa Sma Negeri Plus Sukowono Materi Usaha Dan Energi Tahun Pelajaran 2021/2022. Orbita: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika [Internet]. 2022 Nov 7 [cited 2025 Jul 9];8(2):200–4. Available from: <http://journal.ummat.ac.id/index.php/orbita/article/view/9586>