

Integrasi AI Tutor dengan Simulasi Interaktif PHET untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Gelombang di Sekolah Menengah Atas

Elma ^{1*}, Irhamni Nuhardin ², Nabila Febriyanti ³

^{1,2,3} Politeknik Dewantara, Indonesia

* elmasy454@gmail.com

Abstrak

Urgensi penelitian ini yaitu bahwa Integrasi AI Tutor dengan simulasi interaktif PhET menjadi mendesak karena pembelajaran konsep gelombang yang abstrak di SMA masih sulit dipahami siswa tanpa pendampingan adaptif dan visualisasi dinamis yang interaktif. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas integrasi AI Tutor dengan simulasi interaktif PhET dalam meningkatkan pemahaman konsep optik peserta didik di SMA Negeri 4 Luwu. Metode penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) model Borg & Gall yang dimodifikasi, meliputi analisis kebutuhan, pengembangan produk, validasi ahli, uji coba terbatas, serta implementasi lapangan. Desain kuasi-eksperimental digunakan untuk membandingkan hasil belajar antara kelompok eksperimen yang menggunakan AI Tutor-PhET dan kelompok kontrol yang hanya menggunakan simulasi PhET. Sebanyak 60 peserta didik kelas XI terlibat sebagai sampel penelitian. Instrumen yang digunakan meliputi tes pemahaman konsep, angket respons, dan lembar observasi. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan signifikan pemahaman konsep optik pada kelompok eksperimen dibandingkan kelompok kontrol ($p < 0,05$). Nilai normalized gain kelompok eksperimen berada pada kategori sedang ($g = 0,60$), sedangkan kelompok kontrol berada pada kategori rendah. Selain itu, 87% peserta didik menyatakan AI Tutor memberikan umpan balik yang membantu dan meningkatkan motivasi belajar. Integrasi AI Tutor-PhET terbukti efektif dalam memperkuat pemahaman konsep optik, meningkatkan keterlibatan belajar, serta mendukung pembelajaran abad ke-21 yang adaptif dan berbasis teknologi.

Kata Kunci: *AI Tutor, Simulasi PhET, Pemahaman Konsep Gelombang*

Pendahuluan

Pembelajaran fisika pada jenjang sekolah menengah masih menghadapi berbagai tantangan, terutama ketika mengajarkan konsep-konsep abstrak yang memerlukan kemampuan visualisasi tinggi, seperti optik (Graesser et al., 2021; Alsahi et al., 2024). Konsep pembiasan, pemantulan, dan pembentukan bayangan menuntut representasi konseptual yang kuat, namun dalam praktiknya masih banyak peserta didik yang mengalami miskonsepsi akibat keterbatasan fasilitas laboratorium maupun pendekatan pembelajaran yang masih berorientasi pada ceramah. Kondisi ini berdampak langsung pada rendahnya pemahaman konseptual siswa sebagaimana dilaporkan berbagai studi di konteks pendidikan Indonesia (Nasir & Wijaya, 2021; Sari et al., 2020).

Perkembangan teknologi pendidikan berbasis digital memberikan peluang baru dalam mengatasi keterbatasan pembelajaran fisika yang bersifat abstrak dan sulit divisualisasikan. Salah satu inovasi yang banyak dimanfaatkan adalah PhET Interactive Simulations, yang menyediakan lingkungan eksperimen virtual berbasis visual dan interaktif sehingga memungkinkan siswa mengeksplorasi fenomena fisika secara mandiri melalui manipulasi variabel dan pengamatan langsung terhadap perubahan yang terjadi. Melalui simulasi ini,

konsep-konsep fisika yang kompleks dapat direpresentasikan secara dinamis dan kontekstual, sehingga membantu siswa membangun pemahaman konseptual yang lebih baik, meningkatkan keterlibatan belajar, serta mendukung proses pembelajaran yang berpusat pada siswa.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa simulasi PhET dapat meningkatkan pemahaman konsep dan keterlibatan belajar siswa melalui visualisasi fenomena fisika yang sulit dihadirkan di kelas konvensional (Banda & Nzabahimana, 2022; Pranata, 2024). Namun demikian, PhET belum menyediakan sistem pembelajaran adaptif yang dapat memberikan umpan balik sesuai kebutuhan individual siswa (Sebald et al., 2022). Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*), pembelajaran adaptif menjadi semakin relevan (Vorobyeva et al., 2025). AI Tutor merupakan salah satu bentuk implementasi AI dalam pendidikan yang berfungsi memberikan umpan balik otomatis, menyesuaikan tingkat kesulitan materi, mengidentifikasi kesalahan pemahaman, dan memberikan penjelasan yang dipersonalisasi (Putri & Farhana, 2025). Studi-studi mutakhir menegaskan bahwa AI Tutor mampu meningkatkan personalisasi pembelajaran, motivasi, dan efektivitas belajar (Thomas et al., 2023; Martin et al., 2024; Létourneau et al., 2025).

Akan tetapi, penelitian mengenai integrasi AI Tutor dengan simulasi PhET pada konteks pembelajaran optik di SMA masih sangat terbatas, khususnya di Indonesia. Analisis *state of the art* menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian terdahulu masih memposisikan simulasi interaktif PhET dan AI Tutor sebagai dua pendekatan yang berdiri sendiri, dengan fokus utama pada pengukuran efektivitas masing-masing terhadap hasil belajar siswa. Penelitian simulasi interaktif umumnya menekankan aspek visualisasi dan eksplorasi mandiri, sementara studi AI Tutor lebih banyak berorientasi pada pemberian umpan balik adaptif dan personalisasi pembelajaran (Holmes et al., 2022). Namun demikian, kajian yang secara sistematis mengintegrasikan kedua teknologi tersebut untuk membangun pembelajaran fisika yang adaptif, interaktif, dan kontekstual, khususnya pada materi gelombang di tingkat SMA, masih sangat terbatas (Kusuma et al., 2021).

Celah ini membuka peluang penelitian untuk merancang model pembelajaran inovatif yang memadukan kekuatan visualisasi dinamis PhET dengan kecerdasan adaptif AI Tutor guna meningkatkan pemahaman konseptual siswa secara lebih mendalam dan berkelanjutan. *Research gap* inilah yang menjadi dasar penting penelitian ini, karena integrasi AI Tutor–PhET menawarkan pendekatan pembelajaran yang melampaui eksplorasi visual semata. Melalui integrasi tersebut, siswa tidak hanya berinteraksi dengan simulasi untuk mengamati fenomena gelombang, tetapi juga memperoleh umpan balik otomatis, adaptif, dan kontekstual berdasarkan respons, kesalahan, serta pola eksplorasi yang mereka lakukan. AI Tutor berperan dalam memandu proses berpikir siswa melalui pertanyaan reflektif, penjelasan konseptual, dan rekomendasi aktivitas lanjutan yang disesuaikan dengan kebutuhan belajar individu.

Sehingga, pembelajaran fisika menjadi lebih bermakna, terarah, dan berpusat pada siswa, sekaligus menjembatani kesenjangan antara visualisasi konsep dan pemahaman konseptual yang mendalam di tingkat SMA (Aisyah et al., 2025). Kebaruan penelitian ini semakin kuat karena tidak hanya mengintegrasikan AI Tutor adaptif dengan simulasi interaktif PhET, tetapi juga merancang mekanisme interaksi cerdas di mana AI secara dinamis menganalisis pola eksplorasi siswa, kesalahan konseptual, dan keputusan manipulasi variabel dalam simulasi gelombang. Berbeda dari penggunaan PhET konvensional yang bersifat eksploratif bebas, AI Tutor berperan aktif sebagai pemandu konseptual berbasis data, memberikan pertanyaan diagnostik, umpan balik reflektif, serta rekomendasi eksperimen virtual yang dipersonalisasi. Pendekatan ini menghadirkan model pembelajaran fisika yang menekankan *adaptive inquiry learning*,

menjembatani kesenjangan antara visualisasi fenomena gelombang dan pemahaman konseptual mendalam siswa SMA, yang belum banyak dieksplorasi dalam penelitian pendidikan berbasis AI di konteks sekolah menengah

Penelitian ini dilakukan di SMA Negeri 4 Luwu dengan tujuan mengembangkan dan menguji efektivitas media pembelajaran berbasis integrasi AI Tutor dan simulasi PhET dalam meningkatkan pemahaman konsep optik peserta didik. Pendekatan ini diharapkan mampu menjawab kebutuhan pembelajaran abad ke-21 yang menuntut penggunaan teknologi untuk mendukung pembelajaran adaptif, literasi digital, dan pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi teoretis dalam pengembangan model pembelajaran fisika berbasis teknologi, tetapi juga menawarkan solusi praktis yang relevan bagi sekolah dengan keterbatasan fasilitas laboratorium.

Metode

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan mengadaptasi model Borg dan Gall yang telah dimodifikasi sesuai dengan konteks penelitian. Tahapan pengembangan meliputi analisis kebutuhan, pengembangan produk, validasi ahli, uji coba terbatas, serta implementasi lapangan. Untuk menguji efektivitas media pembelajaran yang dikembangkan, penelitian ini juga menerapkan desain kuasi-eksperimen berupa non-equivalent control group design. Desain ini melibatkan dua kelompok, yaitu kelompok eksperimen yang menggunakan media pembelajaran berbasis integrasi AI Tutor dan simulasi PhET, serta kelompok kontrol yang menggunakan simulasi PhET tanpa integrasi AI Tutor. Kedua kelompok diberikan pretest sebelum perlakuan dan *posttest* setelah perlakuan untuk mengukur peningkatan pemahaman konsep peserta didik. Rancangan penelitian kuasi-eksperimen yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain Penelitian Non-Equivalent Control Group

Kelompok	Pretest	Perlakuan	Posttest
Eksperimen	O_1	X_1	O_2
Kontrol	O_1	X_0	O_2

O_1 menunjukkan nilai pretest yang diberikan kepada kelompok eksperimen dan kelompok kontrol sebelum perlakuan. X_1 merupakan perlakuan berupa penerapan model/media pembelajaran yang dikembangkan pada kelompok eksperimen, sedangkan X_0 menunjukkan pembelajaran konvensional yang diterapkan pada kelompok kontrol. O_2 menunjukkan nilai posttest yang diberikan kepada kedua kelompok setelah perlakuan. Perbandingan hasil pretest dan posttest pada kedua kelompok digunakan untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap hasil belajar siswa

Subjek Penelitian

Subjek penelitian terdiri atas 60 peserta didik kelas XI SMA Negeri 4 Luwu yang dipilih menggunakan teknik cluster random sampling. Dari empat kelas yang tersedia, dua kelas dipilih secara acak untuk dijadikan kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Masing-masing kelompok terdiri atas 30 peserta didik. Kelompok eksperimen memiliki komposisi 15 peserta didik laki-laki dan 15 peserta didik perempuan, sedangkan kelompok kontrol terdiri atas 12 peserta didik laki-laki dan 18 peserta didik perempuan. Jumlah sampel tersebut telah memenuhi syarat minimal untuk analisis statistik komparatif pada penelitian eksperimen di bidang pendidikan sains.

Tabel 2. Distribusi Subjek Penelitian

Kelompok	Jumlah	Laki-laki	Perempuan
Eksperimen	30	15	15
Kontrol	30	12	18
Total	60	27	33

Tabel 2 menunjukkan distribusi subjek penelitian yang terdiri atas dua kelompok, yaitu kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Masing-masing kelompok berjumlah 30 peserta didik sehingga total subjek penelitian sebanyak 60 peserta didik. Pada kelompok eksperimen terdapat 15 peserta didik laki-laki dan 15 peserta didik perempuan, sedangkan pada kelompok kontrol terdapat 12 peserta didik laki-laki dan 18 peserta didik perempuan. Distribusi subjek penelitian ini menunjukkan bahwa jumlah peserta didik pada kedua kelompok relatif seimbang dan layak digunakan sebagai dasar perbandingan dalam penelitian.

Pengembangan Media Pembelajaran AI Tutor-PhET

Media pembelajaran yang dikembangkan berupa integrasi AI Tutor dengan simulasi PhET pada materi optik. AI Tutor dirancang menggunakan *Large Language Model* (LLM) yang mampu memahami pertanyaan peserta didik melalui pemrosesan bahasa alami, memberikan penjelasan adaptif sesuai tingkat pemahaman, mendeteksi miskonsepsi pada konsep pembiasan, pemantulan, dan pembentukan bayangan, serta memberikan umpan balik secara real-time. Selain itu, AI Tutor berfungsi sebagai pemandu interaktif yang mengarahkan peserta didik dalam mengeksplorasi simulasi PhET secara sistematis. Sistem AI Tutor dioperasikan melalui API berbasis cloud untuk memastikan respons yang cepat dan stabil selama proses pembelajaran.

Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian meliputi tes pemahaman konsep, angket respons peserta didik, dan lembar observasi aktivitas belajar. Tes pemahaman konsep terdiri atas 25 butir soal pilihan ganda yang mencakup materi pembiasan, pemantulan, pembentukan bayangan, sifat-sifat lensa, dan perambatan cahaya. Validasi instrumen dilakukan oleh tiga ahli, yaitu dua dosen fisika dan satu guru fisika senior. Hasil uji menunjukkan bahwa tes memiliki validitas isi yang sangat baik dengan reliabilitas sebesar 0,82 berdasarkan koefisien Cronbach's Alpha. Angket respons peserta didik menggunakan skala Likert lima tingkat untuk mengukur kebermanfaatan media, kejelasan penjelasan AI Tutor, tingkat interaktivitas, motivasi belajar, dan kepuasan umum. Sementara itu, lembar observasi digunakan untuk mengamati keaktifan peserta didik, frekuensi penggunaan AI Tutor, eksplorasi simulasi PhET, serta kualitas interaksi diskusi selama pembelajaran.

Penelitian diawali dengan tahap analisis kebutuhan yang dilakukan melalui wawancara dengan guru fisika dan tes diagnostik kepada peserta didik. Hasil analisis menunjukkan adanya miskonsepsi pada konsep pembiasan dan pemantulan, rendahnya kemampuan visualisasi optik, serta keterbatasan fasilitas laboratorium. Tahap selanjutnya adalah pengembangan produk yang meliputi pembuatan modul AI Tutor berbasis LLM, integrasi dengan simulasi PhET materi optik, penyusunan materi dan skenario interaksi, serta pengembangan antarmuka pengguna. Produk yang dihasilkan kemudian divalidasi oleh para ahli dari aspek konten, tampilan media, dan kearifan lokal. Hasil validasi ahli terhadap media pembelajaran disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Validasi Ahli Media Pembelajaran

Aspek Penilaian	Rata-rata (%)	Kategori
Konten	84	Sangat Layak
Tampilan/Media	83	Sangat Layak
Kearifan Lokal	87	Sangat Layak

Setelah itu, dilakukan uji coba terbatas kepada sepuluh peserta didik untuk mengevaluasi stabilitas aplikasi, alur penggunaan AI Tutor, dan efektivitas tampilan simulasi. Perbaikan produk dilakukan berdasarkan masukan yang diperoleh. Tahap akhir berupa implementasi eksperimen dilaksanakan pada dua kelas, dengan durasi pembelajaran masing-masing kelompok selama dua kali pertemuan (2×40 menit).

Teknik Analisis Data

Data penelitian dianalisis menggunakan analisis deskriptif dan inferensial. Analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan nilai pretest, posttest, N-gain, respons peserta didik, serta aktivitas belajar. Peningkatan hasil belajar dihitung menggunakan skor N-gain dengan kategori tinggi, sedang, dan rendah. Kriteria kategori N-gain yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kriteria Kategori N-Gain

Nilai g	Kategori
$g > 0,70$	Tinggi
$0,30 < g \leq 0,70$	Sedang
$g \leq 0,30$	Rendah

Analisis inferensial dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS versi 24, meliputi uji normalitas dengan Kolmogorov–Smirnov, uji homogenitas varians dengan uji Levene, serta uji hipotesis menggunakan Independent Samples t-test pada taraf signifikansi 0,05. Selain itu, effect size dihitung menggunakan Cohen’s d untuk mengetahui kekuatan pengaruh penggunaan media pembelajaran AI Tutor–PhET terhadap pemahaman konsep peserta didik.

Hasil

Penelitian ini menghasilkan temuan empiris yang menunjukkan efektivitas integrasi AI Tutor dan simulasi PhET dalam pembelajaran fisika pada materi optik. Pengukuran pemahaman konsep dilakukan melalui tes pretest dan posttest pada kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Rata-rata skor pretest, posttest, serta nilai N-gain kedua kelompok disajikan Tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata Pretest, Posttest, dan N-gain Peserta Didik

Kelompok	N	Pretest (Mean $\pm$ SD)	Posttest (Mean $\pm$ SD)	N-gain
Eksperimen	30	32,4 $\pm$ 8,2	78,6 $\pm$ 9,4	0,68 (Sedang–Tinggi)
Kontrol	30	33,1 $\pm$ 7,9	62,8 $\pm$ 10,1	0,39 (Sedang)

Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa kemampuan awal kedua kelompok relatif setara, sedangkan setelah perlakuan kelompok eksperimen mengalami peningkatan pemahaman konsep yang lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol. Sebelum pengujian hipotesis dilakukan, data penelitian terlebih dahulu dianalisis untuk memenuhi asumsi statistik parametrik. Hasil uji normalitas menggunakan Kolmogorov–Smirnov dan uji homogenitas varians menggunakan uji Levene menunjukkan bahwa data memenuhi kriteria normal dan homogen.

Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan Independent Samples t-test terhadap skor posttest kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Hasil uji statistik tersebut disajikan pada Tabel di bawah.

Tabel 6. Hasil Uji t Skor Posttest

Perbandingan	Mean	t-value	p-value	Keterangan
Eksperimen vs Kontrol	78,6 vs 62,8	4,92	0,000	Signifikan

Berdasarkan tabel tersebut, nilai signifikansi yang diperoleh lebih kecil dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil belajar kedua

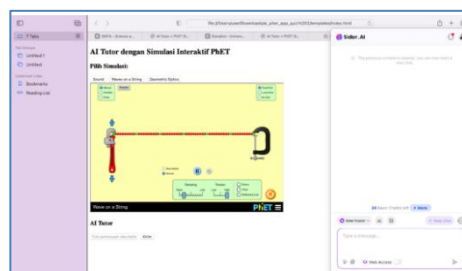
kelompok. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan media pembelajaran berbasis integrasi AI Tutor–PhET memberikan pengaruh yang lebih kuat terhadap peningkatan pemahaman konsep optik dibandingkan penggunaan simulasi PhET tanpa dukungan AI Tutor.

Selain hasil belajar kognitif, penelitian ini juga menganalisis respon peserta didik terhadap penggunaan media pembelajaran. Rekapitulasi hasil angket respon peserta didik disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Respon Peserta Didik terhadap Media AI Tutor–PhET

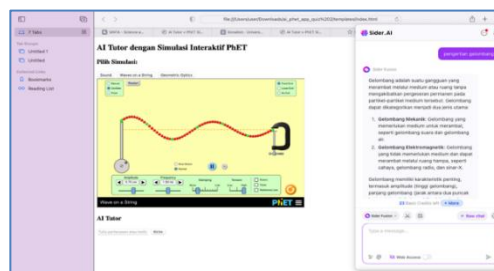
Indikator	Persentase Setuju/Sangat Setuju
Kejelasan penjelasan AI Tutor	92%
Kemudahan penggunaan	90%
Motivasi belajar	88%
Interaktivitas media	94%
Kepuasan keseluruhan	91%

Tabel di atas menunjukkan bahwa sebagian besar peserta didik memberikan penilaian positif terhadap kejelasan penjelasan AI Tutor, kemudahan penggunaan aplikasi, tingkat interaktivitas media, serta peningkatan motivasi belajar. Tingginya tingkat kepuasan peserta didik mengindikasikan bahwa media pembelajaran AI Tutor–PhET dapat diterima dengan baik dan mendukung proses pembelajaran secara efektif. Hasil observasi aktivitas belajar juga menunjukkan adanya perbedaan keterlibatan peserta didik antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Kelompok eksperimen menunjukkan tingkat keaktifan belajar yang lebih tinggi, yang tercermin dari intensitas interaksi dengan AI Tutor dan eksplorasi simulasi PhET yang lebih mendalam. Rata-rata skor aktivitas belajar kedua kelompok diperoleh dari lembar observasi dan digunakan untuk memperkuat temuan kuantitatif pada hasil tes.



Gambar 1. Halaman Awal Aplikasi “Gelombang”

Gambar 1 menampilkan halaman awal aplikasi “Gelombang” yang dirancang sebagai antarmuka utama pembelajaran fisika berbasis integrasi AI Tutor dan simulasi interaktif PhET. Pada halaman ini, siswa diperkenalkan dengan menu navigasi yang intuitif untuk mengakses materi gelombang, simulasi interaktif, panduan AI Tutor, serta fitur evaluasi pembelajaran. Tampilan visual yang sederhana dan kontekstual bertujuan untuk meningkatkan keterlibatan awal siswa, sekaligus memfasilitasi transisi yang mudah menuju aktivitas eksplorasi dan pembelajaran adaptif yang akan didampingi oleh AI Tutor.



Gambar 2. Halaman Simulasi Prototipe Chatbot AI Tutor” Gelombang”

Gambar 2 memperlihatkan halaman simulasi *prototipe Chatbot AI Tutor* “Gelombang” yang terintegrasi dengan simulasi interaktif, di mana siswa dapat berinteraksi langsung melalui percakapan untuk memperoleh bimbingan konseptual selama proses eksplorasi. Pada halaman ini, chatbot AI Tutor berfungsi sebagai pendamping belajar yang memberikan penjelasan, pertanyaan pemantik, serta umpan balik adaptif berdasarkan aktivitas dan respons siswa terhadap simulasi gelombang. Integrasi ini memungkinkan terjadinya pembelajaran dua arah yang interaktif dan kontekstual, sehingga siswa tidak hanya mengamati fenomena fisika, tetapi juga diarahkan untuk membangun pemahaman konsep secara sistematis dan mendalam.

Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi AI Tutor berbasis *Large Language Model* (LLM) dengan simulasi interaktif PhET mampu meningkatkan pemahaman konsep optik peserta didik secara signifikan. Temuan ini mengonfirmasi permasalahan pembelajaran fisika di sekolah menengah yang selama ini masih dihadapkan pada kesulitan visualisasi konsep abstrak, khususnya pada materi pembiasan, pemantulan, dan pembentukan bayangan, yang sering menimbulkan miskonsepsi pada peserta didik (Nasir & Wijaya, 2021; Sari et al., 2020). Penerapan media pembelajaran berbasis integrasi AI Tutor–PhET memberikan alternatif solusi yang relevan untuk mengatasi keterbatasan pendekatan konvensional yang masih berorientasi pada ceramah dan minim aktivitas eksploratif.

Peningkatan pemahaman konsep yang lebih tinggi pada kelompok eksperimen dibandingkan kelompok kontrol, yang ditunjukkan oleh nilai N-gain sebesar 0,68 dalam kategori sedang hingga tinggi, memperkuat temuan bahwa penggunaan simulasi interaktif memberikan dampak positif terhadap hasil belajar fisika. Hasil ini sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa simulasi PhET efektif dalam membantu peserta didik memvisualisasikan fenomena fisika yang sulit diamati secara langsung melalui praktikum konvensional. Namun demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan PhET saja belum sepenuhnya optimal ketika tidak disertai dengan sistem pembelajaran adaptif yang mampu memberikan umpan balik sesuai kebutuhan individual peserta didik.

Keunggulan utama dari media yang dikembangkan dalam penelitian ini terletak pada integrasi AI Tutor yang berfungsi sebagai pendamping belajar adaptif selama proses eksplorasi simulasi. AI Tutor memungkinkan peserta didik memperoleh penjelasan tambahan, klarifikasi konsep, serta arahan eksplorasi simulasi secara *real-time*, sehingga proses pembelajaran menjadi lebih terstruktur dan terarah. Temuan ini mengonfirmasi hasil penelitian yang menyatakan bahwa AI Tutor memiliki potensi besar dalam meningkatkan personalisasi pembelajaran dan membantu peserta didik mengatasi miskonsepsi konseptual secara lebih efektif.

Sehingga dengan adanya AI Tutor, peserta didik tidak hanya berinteraksi dengan simulasi, tetapi juga terlibat dalam dialog reflektif yang mendorong pemahaman konseptual yang lebih mendalam (Banda & Nzabahaman, 2022). Hasil uji *independent samples t-test* yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol semakin memperkuat bukti empiris bahwa integrasi AI Tutor–PhET merupakan intervensi pembelajaran yang efektif. Temuan ini konsisten dengan studi yang menegaskan bahwa pembelajaran berbasis AI memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan hasil belajar ketika digunakan sebagai sistem pendukung pembelajaran, bukan sekadar alat bantu tambahan. Dalam konteks penelitian ini, AI Tutor berperan sebagai fasilitator kognitif yang membantu peserta didik memahami hubungan sebab-akibat dalam fenomena optik melalui penjelasan

naratif yang terintegrasi dengan visualisasi simulasi (Ubben & Bitzenbauer, 2023; Handriyani & Abdillah, 2022).

Perspektif teori pembelajaran, hasil penelitian ini mendukung pendekatan konstruktivistik yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun secara aktif oleh peserta didik melalui pengalaman belajar yang bermakna. Simulasi PhET menyediakan lingkungan belajar yang memungkinkan peserta didik melakukan eksplorasi dan eksperimen virtual, sementara AI Tutor berfungsi sebagai scaffolding yang membantu peserta didik menghubungkan hasil eksplorasi dengan konsep ilmiah yang benar. Sinergi antara eksplorasi visual dan umpan balik adaptif ini terbukti mampu meningkatkan kualitas konstruksi pengetahuan peserta didik, sebagaimana dilaporkan dalam penelitian sebelumnya terkait pembelajaran berbasis teknologi adaptif (Furió et al., 2020).

Respons positif peserta didik terhadap penggunaan media AI Tutor–PhET juga memperkuat temuan kuantitatif yang diperoleh dari hasil tes. Tingginya tingkat persetujuan terhadap kejelasan penjelasan, interaktivitas media, serta kepuasan keseluruhan menunjukkan bahwa peserta didik merasa terbantu dalam memahami materi optik yang sebelumnya dianggap sulit. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa AI Tutor berbasis LLM mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih personal dan meningkatkan kenyamanan peserta didik dalam bertanya serta mengeksplorasi konsep secara mandiri (Wang, 2024).

Selain peningkatan hasil belajar kognitif, penelitian ini juga menunjukkan adanya peningkatan keterlibatan dan aktivitas belajar peserta didik pada kelompok eksperimen. Hasil observasi menunjukkan bahwa peserta didik lebih aktif berinteraksi dengan media pembelajaran, lebih intens dalam mengeksplorasi simulasi, dan lebih terlibat dalam diskusi selama proses pembelajaran. Temuan ini mengonfirmasi hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa integrasi teknologi AI dalam pembelajaran dapat meningkatkan motivasi belajar dan partisipasi aktif peserta didik secara signifikan. Dengan demikian, AI Tutor tidak hanya berkontribusi pada peningkatan pemahaman konsep, tetapi juga pada kualitas proses pembelajaran secara keseluruhan (Zhai et al., 2023).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mengisi kesenjangan penelitian yang selama ini masih terbatas pada kajian penggunaan simulasi interaktif atau AI Tutor secara terpisah. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi keduanya menghasilkan pembelajaran fisika yang lebih adaptif, interaktif, dan bermakna, khususnya pada materi optik di tingkat SMA. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengonfirmasi temuan peneliti terdahulu, tetapi juga memberikan kontribusi baru dalam pengembangan model pembelajaran fisika berbasis teknologi yang relevan dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21 dan kondisi sekolah dengan keterbatasan fasilitas laboratorium.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa integrasi AI Tutor berbasis Large Language Model (LLM) dengan simulasi interaktif PhET terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep optik peserta didik. Temuan ini sejalan dengan tujuan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan AI Tutor–PhET terhadap hasil belajar, keterlibatan siswa, dan kualitas interaksi pembelajaran. Kelompok eksperimen menunjukkan peningkatan pemahaman konsep yang lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol, yang ditunjukkan oleh nilai N-gain sebesar 0,68 dalam kategori sedang hingga tinggi. Perbedaan hasil belajar tersebut diperkuat oleh hasil uji independent t-test dengan nilai signifikansi $p = 0,000$, yang menegaskan bahwa penggunaan AI Tutor merupakan intervensi pembelajaran yang

efektif. Selain itu, AI Tutor berperan penting dalam meningkatkan kualitas interaksi belajar melalui pemberian umpan balik adaptif, koreksi miskonsepsi, serta panduan eksplorasi simulasi yang lebih terarah, sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna. Respons peserta didik yang sangat positif, dengan tingkat kepuasan mencapai 91%, menunjukkan bahwa media AI Tutor–PhET dapat diterima dengan baik dan mampu meningkatkan motivasi serta keterlibatan belajar. Secara implikatif, integrasi teknologi berbasis AI dalam pembelajaran fisika berkontribusi pada penguatan kompetensi abad ke-21, khususnya literasi digital, kemampuan berpikir tingkat tinggi, dan kemandirian belajar.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan pada cakupan materi yang masih terfokus pada konsep optik serta jumlah sampel dan durasi penelitian yang terbatas. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas materi ke topik fisika lain, mengembangkan AI Tutor dengan kemampuan adaptasi yang lebih tinggi, serta melibatkan sampel yang lebih besar dan konteks sekolah yang beragam. Guru, sekolah, dan pemangku kebijakan juga diharapkan dapat mempertimbangkan pemanfaatan AI Tutor–PhET sebagai bagian dari transformasi digital pembelajaran yang sejalan dengan arah kebijakan Merdeka Belajar.

Acknowledgment

-

Daftar Pustaka

- Aisyah, N., Erwing, E., & Muliana, M. (2025). Implementasi Inovasi Teknologi Berbasis Augmented Reality terhadap Peningkatan Kemampuan Pemahaman Konsep Biologi Siswa SMA. *Jurnal Pelita: Jurnal Pembelajaran IPA Terpadu*, 5(1), 237–248. <https://doi.org/10.54065/pelita.5.1.2025.610>
- Alsalmi, N. R., Abdelkader, A. F., Ismail, A. A. K. H., Alqatawneh, S., Alqawasmi, A., & Salem, O. (2024). The Effect of Using PhET Interactive Simulations on Academic Achievement of Physics Students in Higher Education Institutions. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 24(1). <https://doi.org/10.1108/JRIT-12-2021-0152>
- Banda, H. J., & Nzabahimana, S. (2022). The impact of physics education technology (PhET) simulations on students' understanding of oscillations and waves. *Physics Education*, 57(6), 065010. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac8b2b>
- Ubber, M., & Bitzenbauer, P. (2023). Exploring the relationship between students' conceptual understanding and model thinking in quantum optics. *Frontiers in Quantum Science and Technology*, 2, 1207619. <https://doi.org/10.3389/frqst.2023.1207619>
- Farhana, S., et al. (2024). SimPal: An LLM-based pedagogical agent for adaptive physics tutoring. *Computers & Education*, 190, 104557. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.06241>
- Furió, D., Juan, M. C., Seguí, I., & Vivó, R. (2020). Mobile learning vs. traditional classroom lessons: A comparative study. *Journal of Computer Assisted Learning*, 36(3), 327–340. <https://doi.org/10.1111/jcal.12403>
- Graesser, A. C., Conley, M. W., & Olney, A. (2021). Intelligent tutoring systems. In R. Mayer & P. Alexander (Eds.), *Handbook of research on learning and instruction* (2nd ed., pp. 395–415). New York, NY: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315450514>

- Handriyani, E., & Abdillah, C. (2022). Implementasi Model Kooperatif Two Stay Two Stray (TSTS) Untuk Meningkatkan Kemampuan Kognitif IPA. *Jurnal Pelita: Jurnal Pembelajaran IPA Terpadu*, 2(2), 69–75. <https://doi.org/10.54065/pelita.2.2.2022.203>
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2022). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Boston, MA: Center for Curriculum Redesign. <https://doi.org/10.4324/9781003156079>
- Kusuma, A. S., Hidayat, R., & Prasetyo, B. (2021). Effect of interactive simulations on physics learning outcomes. *Journal of Physics Education Research*, 9(2), 120–131.
- Létourneau, A., Deslandes Martineau, M., Charland, P., Karran, J. A., Boasen, J., & Léger, P. M. (2025). A systematic review of AI-driven intelligent tutoring systems (ITS) in K-12 education. *npj Science of Learning*, 10(1), 29. <https://doi.org/10.1038/s41539-025-00320-7>
- Martin, F., Zhuang, M., & Schaefer, D. (2024). Systematic review of research on artificial intelligence in K-12 education (2017–2022). *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, 100195. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100195>
- Nasir, M., & Wijaya, A. (2021). Challenges in learning optics in Indonesian high schools. *Journal of Science Learning*, 4(1), 45–54.
- Otero, M. R., & Arlego, M. F. (2023). Teaching and learning optics in high school: From Fermat to Feynman. *Physics*, 4(4), 1117–1134.
- Pranata, O. D. (2024). Physics education technology (PhET) as a game-based learning tool: A quasi-experimental study. *Pedagogical Research*, 9(4), em0221. <https://doi.org/10.29333/pr/15154>
- Putri, Y., & Farhana, H. (2025). Strategi Diferensiasi Produk berbantuan Media Audio Visual untuk Meningkatkan Pemahaman pada Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Pelita: Jurnal Pembelajaran IPA Terpadu*, 5(1), 214–224. <https://doi.org/10.54065/pelita.5.1.2025.822>
- Sari, D., Putra, A., & Mulyani, T. (2020). PhET simulation in improving conceptual understanding. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 16(1), 55–64. <https://doi.org/10.33394/jp.v10i3.7879>
- Sebald, J., Fliegau, K., Veith, J. M., Spiecker, H., & Bitzenbauer, P. (2022). The world through my eyes: Fostering students' understanding of basic optics concepts related to vision and image formation. *Physics*, 4(4), 1117–1134. <https://doi.org/10.3390/physics4040073>
- Thomas, K., et al. (2023). The role of AI tutors in supporting personalized learning in science education. *International Journal of STEM Education*, 10(5), 1–17.
- Vorobyeva, K. I., Belous, S., Savchenko, N. V., Smirnova, L. M., Nikitina, S. A., & Zhdanov, S. P. (2025). Personalized Learning through AI: Pedagogical Approaches and Critical Insights. *Contemporary Educational Technology*, 17(2). <https://doi.org/10.30935/cedtech/16108>
- Wang, S. (2024). Artificial intelligence in education: A systematic literature review. *Computers in Human Behavior*, 137, 107415. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124167>
- Zhai, X., He, P., & Krajcik, J. (2023). Applying artificial intelligence in science education to promote personalized learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(5), 720–752. <https://doi.org/10.1002/tea.21799>