

Pemanfaatan Simulasi Interaktif *Phet Wave Interference* Untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Eksperimen Celah Ganda Pada Mahasiswa Pendidikan Fisika

Nazwa O Aiska Purba¹, Syalomita Sihite², Yepta S. Lumban Raja³

^{1,2,3}Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Medan

Surel: syalomitasihite25@gmail.com

Abstract

The double-slit experiment is one of the fundamental demonstrations in physics that shows the wave nature of light through the phenomenon of interference. This research aims to evaluate students' understanding of the double slit experiment, the challenges they face, and the effectiveness of using PhET simulations in learning. This research uses a quantitative descriptive method, where data is collected through an online questionnaire distributed to students of the Physics Education Study Program, FMIPA UNIMED class of 2021. The results of the research show that students face difficulties in understanding abstract concepts such as light interference and diffraction patterns. However, the use of PhET simulations significantly helps improve student understanding by providing interactive visualization of phenomena that are difficult to observe directly. These simulations allow modification of experimental parameters to clarify the concept of light-dark patterns in interference and diffraction. This research recommends broader integration of PhET simulations in physics learning to support understanding of abstract concepts and increase active student engagement.

Keyword: Double Slit Experiment, Light Interference, Diffraction Patterns, Phet Simulation, Physics Learning

Abstrak

Eksperimen celah ganda merupakan salah satu demonstrasi fundamental dalam fisika yang menunjukkan sifat gelombang cahaya melalui fenomena interferensi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemahaman mahasiswa terhadap eksperimen celah ganda, tantangan yang dihadapi, serta efektivitas penggunaan simulasi PhET dalam pembelajaran. Penelitian ini Menggunakan metode deskriptif kuantitatif, dimana data dikumpulkan melalui kuesioner daring yang disebarakan kepada mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika FMIPA UNIMED angkatan 2021. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa menghadapi kesulitan dalam memahami konsep yang abstrak seperti interferensi cahaya dan pola difraksi. Namun, penggunaan simulasi PhET secara signifikan membantu meningkatkan pemahaman mahasiswa dengan memberikan visualisasi interaktif terhadap fenomena yang sulit diamati secara langsung. Simulasi ini memungkinkan modifikasi parameter eksperimen untuk memperjelas konsep pola terang-gelap pada interferensi dan difraksi. Penelitian ini merekomendasikan integrasi lebih luas dari simulasi PhET dalam pembelajaran fisika untuk mendukung pemahaman konsep abstrak dan meningkatkan keterlibatan aktif mahasiswa.

Kata Kunci: Eksperimen Celah Ganda, Interferensi Cahaya, Pola Difraksi, Simulasi Phet, Pembelajaran Fisika

PENDAHULUAN

Ilmu fisika merupakan ilmu dasar dari perkembangan teknologi. Dari era Newton (fisika klasik) hingga sekarang (fisika modern) telah banyak sumbangan ilmu fisika bagi perkembangan teknologi. Apabila suatu bangsa bercita-cita untuk maju teknologinya, maka penguasaan bidang ilmu fundamental seperti fisika hendaklah diperkuat. Guru seharusnya membuat pembelajaran fisika di bangku sekolah lebih menarik. Salah satu materi fisika yang diajarkan pada siswa SMA adalah interferensi celah ganda. Materi ini hendak menjelaskan kepada siswa bahwa cahaya memiliki sifat gelombang (Panuluh et al., 2020). Interferensi gelombang cahaya berperan penting dalam dualisme partikel dalam cahaya. Interferensi merupakan kondisi ketika dua gelombang atau lebih bertemu menjadi satu. Pola gelap-terang yang dihasilkan dari kondisi ini disebut superposisi (Nasution et al., 2023).

Cahaya merupakan salah satu gelombang elektromagnetik. Cahaya tidak memerlukan media perantara untuk merambat. Cahaya adalah radiasi elektromagnetik yang memantulkan gelombang dan partikel bernilai. Cahaya berbentuk paket energi kecil yang disebut foton. Setiap gelombang mempunyai panjang gelombang atau frekuensi. Mata manusia melihat setiap panjang gelombang sebagai warna yang berbeda. Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik kasat mata yang memiliki panjang gelombang sekitar 380-750 nm. Cahaya tersusun atas paket-paket kecil atau foton, foton memiliki spektrum cahaya yang dapat dipersepsikan secara visual berupa warna. Cahaya sebagai gelombang memiliki sifat-sifat atau karakteristik

diantaranya, cahaya dapat merambat lurus, cahaya dapat dipantulkan, cahaya dapat menembus benda bening, cahaya dapat mengalami interferensi, cahaya dapat dibiaskan, cahaya dapat diuraikan, cahaya dapat mengalami difraksi, cahaya mengalami polarisasi, cahaya dapat diserap, cahaya memiliki energi, cahaya dapat merambat tanpa media, cahaya memiliki sifat dualisme, cahaya dapat dipancarkan dalam bentuk radiasi, serta cahaya terdiri dari berbagai warna. Cahaya sendiri memiliki sifat gelombang sehingga dapat dianalisis dengan cara gelombang (Hidayati et al., 2024). Gelombang merupakan suatu getaran yang mengalami perambatan pada suatu medium yang membawa energi dari satu tempat ke tempat yang lainnya. Gelombang dapat merambat melalui zat cair, padat, dan gas. Getaran yang merambat ini menghantarkan energi dan bergerak dalam kecepatan tertentu, namun tidak menyeret materi atau media yang dilewati (Peng, 2021).

Celah ganda menjadi salah satu fenomena fisika yang menarik untuk ditinjau dalam pembahasan gelombang optik. Menariknya bahwa cahaya yang melewati celah ganda dengan jarak pemisah tertentu akan mengalami interferensi karena gelombang-gelombang dengan frekuensi yang sama saling bertumbukan. Interferensi yang terjadi dapat berupa interferensi konstruktif dan interferensi destruktif. Selanjutnya, hasil interferensi tersebut akan menghasilkan pola terang dan pola gelap pada layar (Jehadu et al., 2020). Eksperimen celah ganda selalu terjadi salah satu eksperimen utama dalam mekanika kuantum. Namun, jika ada eksperimen yang lebih misterius, itu memang benar adanya percobaan celah ganda dengan partikel terjat

berpasangan (Kazemi & Hosseinzadeh, 2023).

Penyelidikan kami dimotivasi oleh eksperimen celah ganda yang berpengaruh, yang sering digunakan untuk mendemonstrasikan interferensi seperti gelombang dalam fisika. Fitur paling menonjol dari eksperimen celah ganda di fisika menyangkut bentuk distribusi yang menggambarkan pola yang dibuat pada detik layar. Hal ini bergantung pada apakah pelaku eksperimen memperoleh informasi tentang celah mana yang dilewati partikel melalui penghalang pertama (Duffy & Loch-Temzelides, 2021).

Pembelajaran fisika sangat berhubungan dengan fenomena-fenomena alam dan sebagian besar konsep dalam pembelajaran fisika bersifat abstrak. Untuk dapat mengajarkan konsep yang bersifat abstrak, seorang pengajar harus mampu mengajak siswanya seolah-olah belajar dalam dunia nyata, seperti menerapkan pembelajaran yang berbasis virtual laboratory. Virtual laboratory merupakan objek multimedia interaktif yang kompleks berbentuk media digital, dengan tujuan pembelajaran implisit atau eksplisit untuk menyediakan ruang pembelajaran dengan berbagai jenis interaksi (asinkron dan sinkron) untuk memotivasi, melibatkan, dan menguji pembelajaran. Virtual laboratory dapat menjadi solusi alternatif dalam melakukan eksperimen yang tidak bisa dilakukan selama wabah pandemi pada laboratorium konvensional (Agustina et al., 2022).

Virtual laboratory yang cocok digunakan ialah PhET Simulation. PhET merupakan rangkaian simulasi interaktif yang sangat menguntungkan dalam pengintegrasian teknologi komputer ke dalam pembelajaran atau eksperimen.

Media ini menekankan hubungan antara fenomena kehidupan nyata dengan ilmu yang mendasari, mendukung pendekatan interaktif dan konstruktivis, memberikan umpan balik, dan menyediakan ruang belajar kreatif (Agustina et al., 2022).

Physics Education Technology (PhET) adalah simulasi yang dibuat oleh (University Of Colorado) yang berisi simulasi pembelajaran fisika, biologi, dan kimia untuk kepentingan pembelajaran dikelas atau belajar individu. Kelebihan simulasi PhET yaitu menekankan hubungan antara fenomena kehidupan nyata dengan ilmu yang mendasari, mendukung pendekatan interaktif dan konstruktivis, memberikan umpan balik, dan menyediakan tempat kerja kreatif (Saputra et al., 2020). Media pembelajaran yang dapat dimanfaatkan adalah PhET media simulasi, hal ini karena simulasi PhET media tidak hanya memberikan konsep tetapi juga mengajak siswa untuk menemukan konsep dalam kenyataan. Motivasi dan pemahaman konsep dapat ditingkatkan dengan menggunakan media stimulasi PhET (Susilawati et al., 2022).

PhET menjadi pilihan banyak guru dalam melaksanakan praktikum virtual fisika karena memiliki akses gratis dan juga User Interface yang mudah digunakan. Kefleksibelan PhET juga menjadikannya simulasi yang portable, karena dapat diakses menggunakan berbagai device. PhET menyediakan simulasi berbasis animasi interaktif dari berbagai materi pembelajaran Fisika, Kimia, Biologi, Matematika dan Ilmu Kebumihan sehingga memungkinkan siswa berinteraksi, serta mengeksplorasi pemahamannya pada materi yang dipelajari melalui simulasi tersebut. PhET mampu menghubungkan antara konsep dan fenomena riil yang terjadi

serta memberikan gambaran visual terhadap fenomena yang sulit diamati oleh siswa secara langsung (Verdian et al., 2021). Media simulasi PhET ini dikembangkan untuk membantu peserta didik dalam memahami konsep-konsep fisika secara visual yaitu menggunakan grafik dinamis yang secara eksplisit dapat menghidupkan model visual dan konseptual yang digunakan oleh fisikawan ahli. Simulasi ini lebih efektif jika diterapkan dengan pendekatan pembelajaran inkuiri karena dapat memfasilitasi peserta didik untuk belajar secara mandiri sehingga perubahan kognitif yang terjadi dapat lebih maksimal (Rizaldi et al., 2020).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan teknik pengumpulan data melalui kuesioner, yang bertujuan untuk memberikan gambaran secara objektif mengenai kondisi nyata berdasarkan data. Penelitian deskriptif kualitatif adalah jenis penelitian yang bertujuan untuk menggambarkan fenomena atau peristiwa tertentu dengan cara mendalami dan memahami makna yang terkandung di dalamnya (Sugiyono, 2013). Populasi penelitian adalah seluruh mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika FMIPA UNIMED angkatan 2021, sedangkan sampel dipilih menggunakan teknik random sampling agar setiap anggota populasi memiliki peluang yang sama untuk terpilih. Subjek penelitian adalah mahasiswa yang telah mempelajari materi tentang eksperimen celah ganda.

Instrumen yang digunakan berupa kuesioner yang disusun secara online menggunakan *Google Form*. Kuesioner ini dirancang untuk menggali

informasi mengenai tiga aspek utama, yaitu pemahaman mahasiswa tentang eksperimen celah ganda, kesulitan yang dihadapi mahasiswa dalam mempelajari materi tersebut, serta pengaruh simulasi atau demonstrasi terhadap pemahaman mahasiswa. Pengumpulan data dilakukan dengan menyebarkan kuesioner secara daring melalui grup komunikasi mahasiswa untuk memudahkan akses oleh responden. Data yang terkumpul kemudian dianalisis dengan pendekatan statistik deskriptif untuk mengolah jawaban rata-rata, dan distribusi respon, sementara jawaban kualitatif dianalisis untuk memahami alasan atau penjelasan yang diberikan mahasiswa (Moleong, 2018).

Secara garis besar, alur penelitian ini meliputi beberapa tahap: menentukan populasi dan sampel, menyusun kuesioner berdasarkan tujuan penelitian, menyebarkan kuesioner secara online, mengumpulkan data dari responden, menganalisis data secara kuantitatif dan kualitatif, serta menarik kesimpulan dari hasil analisis. Metode penelitian ini dirancang untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai pemahaman dan tantangan yang dihadapi mahasiswa terkait eksperimen celah ganda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini bertujuan untuk memahami penerapan prinsip eksperimen celah ganda dalam kehidupan sehari-hari serta tantangan dalam mempelajari konsep tersebut. Responden yang terlibat dalam penelitian ini memberikan perspektif yang beragam mengenai pengalaman mereka terkait eksperimen celah ganda. Dalam hal penerapan prinsip ini di kehidupan

sehari-hari, responden menyebutkan beberapa contoh, seperti warna pelangi pada gelembung dan efek pada permukaan CD atau DVD. Beberapa juga merujuk pada fenomena hologram, yang menunjukkan bagaimana cahaya dan pemrosesannya mampu menghasilkan pola warna yang menarik.

Meskipun ada pengakuan tentang banyaknya aplikasi praktis, responden juga mengidentifikasi beberapa kesulitan dalam mempelajari eksperimen celah ganda. Responden satu menekankan kesulitan dalam memahami interferensi cahaya, sementara yang lain menyebutkan bahwa konsep celah ganda terasa abstrak dan menantang untuk divisualisasikan, terutama bagi pemula. Menurut mereka, memahami interaksi gelombang cahaya yang memperkuat atau melemahkan satu sama lain memerlukan pemahaman mendalam tentang sifat-sifat gelombang.

Eksperimen celah ganda diakui oleh semua responden sebagai alat penting dalam memahami sifat dasar cahaya. Responden menyatakan bahwa melalui pola interferensi yang dihasilkan, seseorang dapat belajar tentang dualitas gelombang-partikel dari cahaya. Hal ini menjadi titik penting dalam fisika modern, di mana eksperimen ini tidak hanya menjelaskan fenomena optik tetapi juga berkontribusi pada pemahaman perilaku partikel subatomik. Dengan demikian, eksperimen ini tidak hanya bermanfaat secara teoritis, tetapi juga memiliki relevansi praktis yang sangat kuat.

Dalam hal efektivitas metode pembelajaran yang diterapkan oleh dosen, responden menunjukkan pendapat yang bervariasi. Responden satu merasa bahwa metode visualisasi seperti animasi dan diskusi kelompok sangat membantu. Namun, responden kedua menilai metode

yang ada kurang efektif dan mengusulkan perlunya lebih banyak sumber belajar yang bisa diakses dengan mudah. Responden ketiga berpandangan bahwa walau metode yang digunakan baik, penambahan contoh-contoh dari kehidupan sehari-hari dan peningkatan diskusi kelompok dapat memperdalam pemahaman mengenai materi ini.

Kombinasi penjelasan teoritis dengan simulasi atau demonstrasi praktis dinilai penting untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih komprehensif.

Responden mengemukakan bahwa melalui eksperimen langsung, siswa dapat terlibat aktif dalam pembelajaran, memungkinkan mereka untuk mengamati dan menganalisis fenomena secara menyeluruh. Dengan pendekatan ini, pemahaman siswa terhadap prinsip-prinsip dasar fisika, khususnya terkait dengan eksperimen celah ganda, bisa meningkat secara signifikan.

Pembahasan

Berdasarkan hasil angket yang diberikan kepada mahasiswa program studi Pendidikan Fisika, ditemukan beberapa permasalahan utama terkait pemahaman dan pembelajaran konsep eksperimen celah ganda. Salah satu tantangan terbesar yang dihadapi mahasiswa adalah kompleksitas konsep seperti interferensi cahaya, dan pola difraksi. Konsep-konsep ini dianggap abstrak dan sulit untuk divisualisasikan, terutama oleh mahasiswa yang belum memiliki pemahaman mendalam tentang sifat gelombang cahaya.

Dari segi metode pembelajaran, mahasiswa menunjukkan apresiasi terhadap penggunaan animasi visual dan simulasi dalam membantu memahami materi. Namun, ada kritik terkait efektivitas metode pembelajaran secara

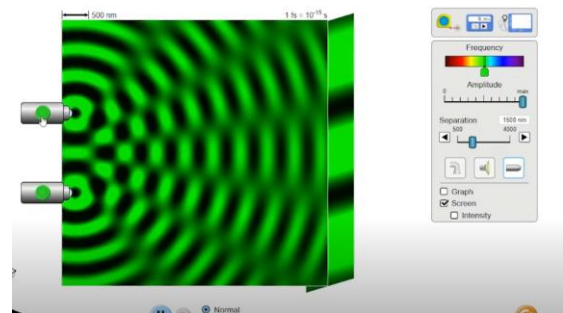
keseluruhan, seperti perlunya penyediaan lebih banyak sumber belajar yang mudah diakses dan contoh soal yang relevan dengan kehidupan sehari-hari. Diskusi kelompok juga disebut sebagai metode yang potensial untuk meningkatkan pemahaman.

Mahasiswa mengakui bahwa eksperimen celah ganda sangat membantu dalam memahami sifat dualitas cahaya, yaitu gelombang dan partikel, serta menjadi dasar penting dalam teori kuantum. Simulasi atau demonstrasi eksperimen dianggap memiliki pengaruh besar dalam pembelajaran karena mampu membuat konsep menjadi lebih hidup dan nyata dibandingkan penjelasan teoritis saja.

Secara keseluruhan, permasalahan utama terletak pada pengajaran konsep yang abstrak, kurangnya variasi metode pembelajaran yang interaktif, serta minimnya koneksi langsung antara materi dengan fenomena sehari-hari yang akrab bagi mahasiswa. Hal ini menunjukkan perlunya peningkatan dalam strategi pembelajaran untuk mengatasi kesulitan mahasiswa dan mendukung pemahaman yang lebih mendalam terhadap konsep fisika modern seperti eksperimen celah ganda.

Eksperimen celah ganda adalah salah satu eksperimen klasik dalam fisika yang menunjukkan sifat gelombang cahaya melalui fenomena interferensi. Meskipun eksperimen ini fundamental dalam fisika modern, pemahaman konsep pola interferensi dan difraksi dapat menjadi tantangan bagi banyak mahasiswa. Salah satu solusi yang dapat diimplementasikan untuk meningkatkan pemahaman ini adalah dengan menggunakan media simulasi, seperti PhET. Simulasi PhET menyediakan pendekatan interaktif yang memungkinkan mahasiswa untuk

mengamati dan memahami fenomena yang sulit diamati secara langsung di laboratorium. Berdasarkan temuan-temuan dari penelitian ini, dapat dikatakan bahwa PhET memiliki peran yang signifikan dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa terkait eksperimen celah ganda, interferensi cahaya, dan pola difraksi.

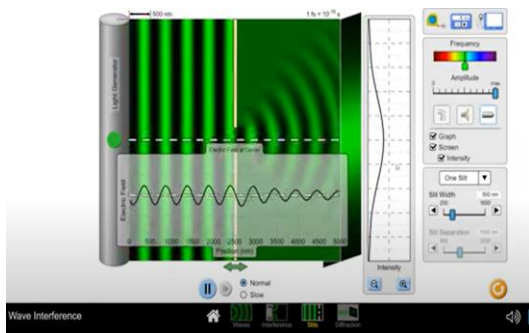


Gambar 1. Hasil percobaan Interferensi Cahaya

Penggunaan PhET untuk memahami Interferensi Cahaya secara signifikan memudahkan mahasiswa dalam memahami eksperimen celah ganda. Berdasarkan hasil angket, mahasiswa menganggap bahwa konsep interferensi cahaya dan pola difraksi yang dihasilkan oleh celah ganda cukup abstrak dan sulit divisualisasikan. Namun, dengan menggunakan PhET, mereka dapat secara langsung melihat dan berinteraksi dengan simulasi fenomena interferensi, yang menjadikan konsep ini lebih jelas. Seperti yang dijelaskan dalam literatur, PhET memungkinkan pengguna untuk mengganti parameter-parameter eksperimen, seperti jarak antara celah, panjang gelombang cahaya, dan lebar celah, serta melihat perubahan yang terjadi pada pola interferensi secara real-time. Hal ini membantu mahasiswa untuk menghubungkan teori dengan fenomena yang terjadi di dunia nyata.

Fenomena interferensi cahaya terjadi ketika dua gelombang cahaya saling bertemu dan tumpang tindih. Ketika dua gelombang tersebut berada dalam fase yang sama, mereka saling memperkuat (interferensi konstruktif), sementara jika berada dalam fase yang berlawanan, mereka saling mengurangi (interferensi destruktif). Proses ini tergantung pada perbedaan panjang lintasan yang ditempuh oleh kedua gelombang tersebut setelah melewati celah-celah yang terpisah. Dengan PhET, mahasiswa dapat memodifikasi parameter-parameter eksperimen, sehingga dapat lebih mudah memahami bagaimana interferensi bekerja secara dinamis.

Pola difraksi yang dihasilkan dalam eksperimen celah ganda sangat sulit untuk dipahami jika hanya dijelaskan secara teoritis. Berdasarkan dari hasil penelitian, simulasi PhET memungkinkan mahasiswa untuk melihat dengan jelas bagaimana gelombang cahaya terbelokkan saat melewati celah sempit dan bagaimana pola terang-gelap yang terbentuk. Ini memberikan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana difraksi bekerja dan bagaimana celah yang lebih sempit atau panjang gelombang yang berbeda mempengaruhi pola yang terbentuk.



Gambar 2. Hasil Percobaan Pola Difraksi

Difraksi adalah fenomena pembelokan gelombang ketika gelombang tersebut melewati rintangan atau celah yang dimensinya sebanding dengan panjang gelombangnya. Dalam eksperimen celah ganda, cahaya yang melewati dua celah sempit akan menghasilkan pola terang dan gelap pada layar yang dipengaruhi oleh konstruksi dan destruksi gelombang cahaya. Dengan menggunakan PhET, mahasiswa dapat mengubah parameter-parameter seperti panjang gelombang atau jarak antar celah dan mengamati langsung pengaruhnya terhadap pola difraksi, yang membantu mereka memahami konsep ini dengan lebih baik.

Berdasarkan hasil angket yang dilakukan, sebagian besar responden setuju bahwa metode pembelajaran menggunakan simulasi PhET sangat membantu dalam memahami eksperimen celah ganda. Responden menyatakan bahwa dengan melihat ilustrasi yang lebih hidup dan nyata dalam simulasi PhET, mereka dapat memahami konsep yang sebelumnya sulit dipahami melalui penjelasan verbal atau pengamatan fisik langsung. Sebagai media yang interaktif, PhET memungkinkan mahasiswa untuk lebih aktif dalam proses pembelajaran, baik dalam kelompok maupun secara mandiri.

Pembelajaran yang berbasis simulasi memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk melakukan eksperimen virtual yang mungkin tidak dapat dilakukan di laboratorium fisika tradisional, baik karena keterbatasan peralatan atau karena sifat eksperimen yang sulit dilakukan secara nyata. PhET memberi gambaran fenomena fisika yang kompleks dengan cara yang lebih mudah dipahami, sehingga fenomena abstrak, seperti interferensi dan difraksi, dapat lebih jelas dipahami.

Sejumlah penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan PhET dalam pembelajaran fisika dapat meningkatkan pemahaman siswa. Penelitian oleh Azizaturedha et al (2019) menunjukkan bahwa penggunaan PhET dengan model pembelajaran inkuiri terbimbing meningkatkan hasil belajar, keterampilan proses sains, dan minat belajar siswa. Hal tersebut di dukung oleh (Ansya & Salsabilla, 2024). Hal ini konsisten dengan temuan dalam penelitian ini, di mana penggunaan PhET dalam eksperimen celah ganda tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep-konsep fisika tetapi juga merangsang rasa ingin tahu dan keterlibatan aktif mahasiswa. Penelitian oleh Maulina dan Kustijono (2017) juga menunjukkan bahwa penggunaan PhET lebih efektif dalam praktik dibandingkan dengan praktikum tradisional, karena media simulasi memungkinkan mahasiswa untuk lebih aktif dalam merepresentasikan materi yang dipelajari. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian ini, yang menemukan bahwa mahasiswa merasa lebih mudah memahami eksperimen celah ganda melalui media simulasi PhET, karena mereka dapat melihat dan berinteraksi langsung dengan pola interferensi yang terbentuk.

KESIMPULAN

Simulasi interaktif PhET Wave Interference secara signifikan meningkatkan pemahaman mahasiswa Pendidikan Fisika dalam eksperimen celah ganda dan interferensi cahaya. Dengan ilustrasi dinamis, simulasi ini membantu mahasiswa memvisualisasikan konsep abstrak seperti difraksi cahaya dan memberikan pengalaman praktikum mendekati

realitas. Mahasiswa menganggap simulasi ini lebih efektif dibandingkan penjelasan teoritis, terutama saat dipadukan dengan diskusi kelompok. Selain memperdalam pemahaman materi, simulasi ini juga relevan dengan kehidupan sehari-hari. Meskipun ada tantangan dalam mengajarkan konsep abstrak, kombinasi simulasi PhET dan pembelajaran aktif diharapkan dapat meningkatkan pemahaman dan memotivasi mahasiswa dalam proses belajar.

DAFTAR RUJUKAN

- Agustina, R. D., Andhika, S., Cesariyanti, Y., Putra, R. P., Putri, A., & Dermawan, M. D. S. (2022). Penggunaan PhET virtual lab dalam uji jarak pola gelap terang pada interferensi. *WaPFI (Wahana Pendidikan Fisika)*, 7(2), 161–168.
- Ansya, Y. A., & Salsabilla, T. (2024). *Model Pembelajaran IPA di Sekolah Dasar*. Cahya Ghani Recovery.
- Azizaturedha, M., Fatmawati, S., & Yuliani, H. (2019). Penerapan model pembelajaran inkuiri terbimbing dengan media laboratorium virtual (PhET) untuk meningkatkan hasil belajar, keterampilan proses sains dan minat belajar siswa pada pokok bahasan elastisitas. *Edufisika: Jurnal Pendidikan Fisika*, 4(01), 1–5.
- Duffy, J., & Loch-Temzelides, T. (2021). A double-slit experiment with human subjects. *Plos One*, 16(2), e0246526.
- Hidayati, A. K., Izzulhaq, A.,

- Oktamaypasha, R., & Rini, S. B. I. (2024). DIY Innovations in Quantum Physics: Proving Light Dualism with Photoelectric Effect and Double Slit Experiments. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Fisika*, 4(1), 17–30.
- Jehadu, V., Warsito, A., Johannes, A. Z., & Louk, A. C. (2020). Visualisasi fenomena kombinasi difraksi dan interferensi pada celah ganda memanfaatkan metode secant berbasis pemrograman delphi. *Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Aplikasinya*, 5(2), 156–162.
- Kazemi, M., & Hosseinzadeh, V. (2023). Detection statistics in a double-double-slit experiment. *Physical Review A*, 107(1), 12223.
- Maulina, R. N., & Kustijono, R. (2017). Efektifitas pembelajaran fisika berbantuan media virtual PhET disamping pelaksanaan lab riil untuk melatih keterampilan proses sains. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (SNF)*, 1, 65–69.
- Moleong, L. J. (2018). *Metodologi penelitian kualitatif*. PT Remaja Rosdakarya.
- Nasution, R. H. R., Rasendriya, A. B., Hertanto, T. L., & Murniati, R. (2023). Penentuan Panjang Gelombang dalam Interferensi Celah Ganda dengan Menggunakan PHET Colorado. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi (E-SNST)*, 5(1).
- Panuluh, A. H., Atmajati, E. D., & Sulandari, S. A. (2020). Otomatisasi Eksperimen Interferensi Tiga Celah. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 17(2), 119–124.
- Peng, H. (2021). Experimental Study of Mystery of Double Slit---Comprehensive Double Slit Experiments. *International Journal of Physics*, 9(2), 114–127.
- Rizaldi, D. R., Jufri, A. W., & Jamaluddin, J. (2020). PhET: Simulasi interaktif dalam proses pembelajaran fisika. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 5(1), 10–14.
- Saputra, R., Susilawati, S., & Verawati, N. N. S. P. (2020). Pengaruh penggunaan media simulasi phet (physics education technology) terhadap hasil belajar fisika. *Jurnal Pijar Mipa*, 15(2), 110–115.
- Sugiyono, D. (2013). *Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Susilawati, A., Yusrizal, Y., Halim, A., Syukri, M., Khaldun, I., & Susanna, S. (2022). The effect of using physics education technology (PhET) simulation media to enhance students' motivation and problem-solving skills in learning physics. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(3), 1157–1167.
- Verdian, F., Jadid, M. A., & Rahmani, M. N. (2021). Studi penggunaan media simulasi phet dalam pembelajaran fisika. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Fisika*, 1(2), 39–44.