

Peran Simulasi PHET dalam Meningkatkan Pemahaman Mahasiswa Tentang Fenomena Dualisme Partikel-Gelombang

Muhammad Ropinur¹, Silvi Anggraini², Sry Maharany Pepayosa Br Perangin Angin³

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

Surel: ropinur@mhs.unimed.ac.id

Abstract

This research was conducted to answer the challenges faced in teaching modern physics, especially in conveying complex material such as wave-particle dualism. This research uses qualitative research methods with a descriptive approach. The main focus of this research is to analyze the difficulties of Medan State University Physics Education Study Program students in understanding the concept of particle-wave dualism through PhET (Physics Education Technology) based simulations. The research results show that the main challenges in understanding particle-wave dualism are theoretical complexity and the lack of relevant tools. By adopting more interactive teaching methods and using effective additional learning resources, it is hoped that students can overcome the difficulties they face and gain a better understanding of quantum physics. This research provides an important foundation for the development of learning strategies that can improve the quality of quantum physics education at university level.

Keyword: PHET Simulation, Physics, Particle-Wave Dualism Phenomenon

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab tantangan yang dihadapi dalam pengajaran fisika modern, terutama dalam menyampaikan materi yang kompleks seperti dualisme gelombang-partikel. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif dengan pendekatan deskriptif. Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis kesulitan mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Negeri Medan dalam memahami konsep dualisme partikel-gelombang melalui simulasi berbasis PhET (Physics Education Technology). Hasil penelitian menunjukkan tantangan utama dalam memahami dualisme partikel-gelombang adalah kompleksitas teoritis dan kurangnya alat bantu yang relevan. Dengan mengadopsi metode pengajaran yang lebih interaktif dan menggunakan sumber belajar tambahan yang efektif, diharapkan mahasiswa dapat mengatasi kesulitan yang mereka hadapi dan memperoleh pemahaman yang lebih baik terhadap fisika kuantum. Penelitian ini memberikan landasan penting bagi pengembangan strategi pembelajaran yang dapat meningkatkan kualitas pendidikan fisika kuantum di tingkat universitas.

Kata Kunci: Simulasi PHET, Fisika, Fenomena Dualisme Partikel-Gelombang

PENDAHULUAN

Konsep dualisme partikel-gelombang adalah salah satu pilar utama dalam teori kuantum yang menggambarkan bahwa partikel dapat menunjukkan sifat-sifat gelombang dan sebaliknya. Konsep ini pertama kali diperkenalkan melalui eksperimen efek fotolistrik oleh Albert Einstein dan hipotesis De Broglie yang menyatakan bahwa partikel seperti elektron memiliki sifat gelombang (Sani & Kadri, 2022). Kunci-eksperimen seperti percobaan celah ganda Young dan keterlambatan pilihan Wheeler telah mengkonfirmasi bahwa partikel dapat memperlihatkan ciri-ciri seperti gelombang pada kondisi tertentu dan sebaliknya. Maka dari itu, prinsip ketidakpastian Heisenberg, dan prinsip komplementaritas oleh Niels Bohr, juga adalah bagian dari disposisi integral dan tercermin dari kenyataan bahwa tidak mungkin mengukur sifat partikel dan gelombang secara bersamaan dengan ketepatan tak terhingga.

Pentingnya dualisme partikel-gelombang terletak dalam kenyataan bahwa ia dapat menjelaskan fenomena-fenomena yang tidak dapat difahami oleh fisika klasik. Dalam mekanika kuantum misalnya, dualisme ini membantu menjelaskan perilaku partikel pada skala mikroskopis, seperti interferensi dan difraksi, yang tidak bisa dijelaskan jika partikel hanya dianggap sebagai entitas diskret. Konsep ini juga membentuk dasar bagi pengembangan teori-teori fisika modern lainnya, seperti teori medan kuantum dan teori banyak tubuh, yang memerlukan pemahaman mendalam tentang bagaimana partikel dapat berinteraksi dan berperilaku seperti gelombang dalam berbagai kondisi. Dualism partikelpemerian gelombang tidak hanya penting dalam kaitannya

dengan pemahaman dasar tentang alam semesta pada tingkat mikroskopis tetapi juga terkait dalam aplikasi praktis dalam teknologi moderen seperti komputasi kuantum dan komunikasi kuantumkuantum (Hanam et al., 2024).

Dengan kemajuan teknologi pendidikan, terutama dalam penggunaan simulasi interaktif, terbuka peluang besar dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa mengenai materimateri sulit. Simulasi interaktif dapat memberikan kesempatan kepada siswa untuk memvisualisasikan dan berinteraksi dengan model-model fisika yang rumit; dengan demikian, mereka dapat lebih memahami konsep abstrak (Setiawan et al., 2023). Dalam pengajaran fisika di Indonesia, kemampuan teknologi ini dapat melampaui keterbatasan metode pengajaran konvensional. Misalnya, simulasi interaktif dapat digunakan untuk memperlihatkan bagaimana partikel dan gelombang berinteraksi dalam berbagai kondisi, memberikan visualisasi yang jelas dan mendalam yang tidak dapat dicapai melalui ceramah atau teks buku saja (Wulandari, 2012).

Salah satu masalah yang paling diasosiasikan dengan fisika adalah masalah belajar mengenai dualisme partikel-gelombang. Penelitian menunjukkan bahwa konsep ini sering kali sulit dipahami karena sifatnya yang abstrak dan bertentangan dengan pandangan fisika klasik yang lebih intuitif. Penelitian menunjukkan bahwa siswa sekolah menengah atas mengalami kesulitan dalam memahami dualisme partikel-gelombang, dengan banyak dari mereka menunjukkan kesalahpahaman yang jelas dan terformulasi secara eksplisit yang berakar pada pandangan dunia fisika klasik (Yusuf, 2013). Selain itu, temuan penelitian lain mengidentifikasi kesulitan konseptual

dalam fisika kuantum sering kali berasal dari keterbatasan kemampuan siswa dalam menghubungkan formalitas matematika dengan pengalaman dunia fisik, serta transisi dari pandangan dunia deterministik ke probabilistic (Putra & Wiza, 2019).

Pendekatan pembelajaran yang inovatif diusulkan guna mengatasi kesulitan ini. Sebagai contoh, penggunaan bahan didaktik yang dirancang secara khusus untuk membantu siswa memahami dasar teoretis konsep-konsep abstrak seperti dualism partikel-gelombang, ternyata mampu secara signifikan meningkatkan pemahaman siswa (Darojat et al., 2015). Selain itu, cara pendidikan berbasis penelitian juga menunjukkan hasil positif dalam membantu siswa untuk memahami konsep dasar fisika kuantum dengan menggabungkan antara eksperimen nyata dengan simulasi. Pendekatan ini memberikan penekanan pada pentingnya pengalaman operatif dan intuitif pada pemahaman konsep dasar seperti superposisi dan keterikatan (Sitorus et al., 2024).

Salah satu keunggulan PhET dalam simulasi dibandingkan dengan metode pengajaran lainnya yaitu dapat memfasilitasi lingkungan belajar secara interaktif dan menyenangkan bagi siswa. Siswa dapat mengeksplorasi konsep ilmiah dengan cara mirip dengan eksperimen ilmiah sendiri, mendorong mereka untuk mengambil bagian aktif dan menemukan gagasan baru tentang ilmu pengetahuan (Ansya et al., 2024; Ansya & Salsabilla, 2024). Selanjutnya, simulasi dapat diakses melalui peramban web standar dan dapat diintegrasikan ke dalam berbagai format pembelajaran, seperti dalam kuliah, laboratorium, atau tugas rumah. Meta-analisis penelitian juga menunjukkan bahwa simulasi

berbasis teknologi memiliki efek positif besar dalam memfasilitasi pembelajaran keterampilan kompleks di berbagai domain pendidikan tinggi. Dengan demikian, penggunaan simulasi PhET tidak hanya meningkatkan pemahaman siswa tentang konsep-konsep fisika yang kompleks tetapi juga meningkatkan motivasi dan keterlibatan mereka dalam proses belajar (Widyastuti et al., 2024).

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab tantangan yang dihadapi dalam pengajaran fisika modern, terutama dalam menyampaikan materi yang kompleks seperti dualisme gelombang-partikel. Metode pengajaran konvensional seperti ceramah dan buku teks sering kali tidak cukup efektif untuk materi yang bersifat abstrak dan tidak dapat dilihat secara langsung (Ansya, 2023). Hal ini dikarenakan metode pembelajaran tradisional kurang memberikan visualisasi langsung dan pengalaman langsung kepada siswa dalam memahami konsep-konsep fisika yang kompleks. Sebagai contoh, dalam mempelajari dualisme partikel-gelombang, siswa seringkali tidak dapat memahami bagaimana partikel dapat berperilaku seperti gelombang dan sebaliknya karena fenomena ini tidak dapat diamati secara langsung dalam kehidupan sehari-hari. Dengan demikian hasil penelitian ini menganalisis inovasi pembelajaran untuk meningkatkan pemahaman fenomena dualisme partikel-gelombang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif dengan pendekatan deskriptif. Metode ini dipilih karena bertujuan untuk memahami fenomena atau permasalahan berdasarkan data yang diperoleh secara

mendalam melalui pengamatan dan tanggapan subjek penelitian. Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis kesulitan mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Negeri Medan dalam memahami konsep dualisme partikel-gelombang melalui simulasi berbasis PhET (Physics Education Technology). Pendekatan ini sesuai dengan pandangan Moleong (2018), yang menyatakan bahwa pendekatan kualitatif efektif untuk menggali pengalaman subjektif individu terhadap suatu fenomena.

Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2024 di Universitas Negeri Medan, khususnya di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Lokasi penelitian dipilih secara spesifik karena subjek penelitian, yakni mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika, relevan dengan tema yang diangkat. Pemilihan subjek dilakukan melalui teknik purposive sampling, melibatkan lima mahasiswa yang telah mempelajari konsep dualisme partikel-gelombang dan menggunakan simulasi PhET. Teknik ini, sebagaimana diuraikan Sugiyono (2022), bertujuan untuk memastikan data yang diperoleh berasal dari sumber yang paling memahami permasalahan.

Pengumpulan data dilakukan melalui kombinasi metode, yaitu kuesioner, wawancara semi-terstruktur, dan dokumentasi. Kuesioner berisi pertanyaan terbuka yang menggali pengalaman dan tanggapan mahasiswa terhadap simulasi PhET, sedangkan wawancara dilakukan untuk memperoleh data yang lebih mendalam. Dokumentasi digunakan untuk melengkapi data terkait catatan pembelajaran atau aktivitas sebelumnya. Teknik analisis data mengikuti model interaktif Miles dan Huberman, melibatkan pengumpulan

data, reduksi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan/verifikasi. Proses ini dilakukan secara terus-menerus hingga data mencapai kejenuhan.

Analisis data bertujuan memberikan gambaran mendalam tentang kesulitan yang dihadapi mahasiswa serta efektivitas simulasi PhET sebagai alat bantu pembelajaran. Reduksi data membantu menyaring informasi penting yang relevan dengan fokus penelitian, sementara penyajian data memungkinkan pemahaman yang lebih terstruktur terhadap temuan yang diperoleh. Langkah akhir adalah menarik kesimpulan berdasarkan data yang sudah dianalisis untuk memberikan wawasan baru terkait penggunaan teknologi dalam pembelajaran konsep dualisme partikel-gelombang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kesulitan mahasiswa dalam memahami konsep dualisme partikel-gelombang, khususnya melalui eksperimen celah ganda, dengan teknik pengumpulan data berupa kuesioner dan wawancara. Data kuesioner menunjukkan bahwa pemahaman mahasiswa terhadap berbagai konsep dalam fisika kuantum cenderung berada pada tingkat kesulitan yang cukup tinggi. Sebagian besar responden menyatakan kesulitan dalam memahami konsep dasar, seperti interferensi cahaya dan dualitas partikel-gelombang. Selain itu, hubungan antara panjang gelombang dan pola interferensi juga menjadi salah satu aspek yang sulit dipahami. Secara khusus, eksperimen celah ganda dianggap sebagai salah satu topik yang sangat menantang karena melibatkan

banyak elemen teoretis dan pengamatan praktis yang tidak intuitif.

Pada tahap pengumpulan data melalui kuesioner, mahasiswa memberikan penilaian terhadap delapan pertanyaan menggunakan skala Likert (1-5). Tidak ada responden yang menilai topik-topik tersebut sebagai "sangat mudah" atau "mudah," yang mengindikasikan bahwa konsep fisika kuantum memerlukan pendekatan pembelajaran yang lebih mendalam dan interaktif. Mayoritas responden memberikan skor "cukup" atau "sulit," menunjukkan bahwa pemahaman mereka terhadap materi masih memerlukan peningkatan signifikan. Sebagai contoh, pada pertanyaan mengenai kemampuan membedakan perilaku partikel dan gelombang, sebanyak 60% responden menyatakan kesulitan, sementara sisanya merasa hanya memiliki pemahaman yang cukup. Hal ini mencerminkan kompleksitas teori yang memerlukan visualisasi lebih baik melalui simulasi atau alat bantu lainnya.

Pada tahap reduksi data, pola serupa terlihat di hampir semua aspek yang diteliti. Pemahaman terhadap interferensi cahaya menjadi salah satu tantangan utama, dengan 60% responden menyatakan bahwa konsep ini sulit untuk dikuasai. Demikian pula, kejelasan penjelasan eksperimen celah ganda masih dianggap kurang memadai oleh sebagian besar responden. Selain itu, kemampuan mahasiswa dalam mengaitkan teori dengan aplikasi praktis menunjukkan hasil yang tidak memuaskan. Hampir semua responden menyatakan bahwa tanpa panduan konkret, mereka kesulitan untuk melihat relevansi eksperimen tersebut dalam konteks dunia nyata, yang mengakibatkan pemahaman konseptual mereka tetap terbatas pada teori.

Dalam penyajian data, hasil kuesioner dipadukan dengan temuan wawancara untuk memberikan gambaran yang lebih mendalam. Wawancara menunjukkan bahwa mahasiswa merasa eksperimen celah ganda sulit dipahami karena pola interferensi yang kompleks dan perubahan hasil eksperimen akibat pengamatan. Beberapa responden mengungkapkan kebingungan dalam memahami hubungan antara teori dan hasil eksperimen, yang membuat mereka merasa bahwa fisika kuantum adalah bidang yang abstrak dan tidak terhubung dengan pengalaman sehari-hari. Hal ini menyoroti kebutuhan akan metode pengajaran yang lebih kontekstual dan berbasis pengalaman nyata untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa.

Metode pengajaran yang ada saat ini dirasakan kurang mendukung pemahaman mahasiswa terhadap materi yang abstrak dan kompleks seperti dualisme partikel-gelombang. Responden menyarankan penggunaan alat bantu visual seperti simulasi interaktif, yang dianggap mampu membantu mereka memvisualisasikan pola interferensi dan hubungan antara variabel eksperimen. Beberapa mahasiswa juga menyatakan bahwa diskusi kelompok dapat menjadi pendekatan yang efektif, karena dapat mendorong mereka untuk mendalami konsep melalui dialog aktif dengan teman sebaya. Selain itu, eksperimen laboratorium yang sederhana namun relevan juga dianggap penting untuk membantu mahasiswa menghubungkan teori dengan praktik secara langsung.

Simulasi dan sumber belajar tambahan, seperti video interaktif dan aplikasi simulasi fisika (seperti PhET), dinilai sangat membantu dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep-konsep yang sulit.

Simulasi memungkinkan mahasiswa untuk melihat pola interferensi secara langsung dan mengulangi eksperimen tanpa keterbatasan alat fisik. Hal ini tidak hanya memperkuat pemahaman teoritis tetapi juga memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna. Namun, beberapa mahasiswa mencatat bahwa sumber belajar tambahan seperti artikel online terkadang tidak cukup mendalam untuk menjawab pertanyaan mereka yang lebih spesifik.

Hasil wawancara juga menunjukkan bahwa mahasiswa yang menggunakan simulasi dan alat bantu digital merasa lebih percaya diri dalam memahami materi fisika kuantum. Simulasi membantu mereka untuk melihat hubungan antara teori dan aplikasi, yang sebelumnya sulit dibayangkan hanya melalui pembelajaran konvensional. Pengalaman ini menunjukkan bahwa alat bantu interaktif dapat menjadi solusi efektif dalam menjembatani kesenjangan pemahaman antara teori dan praktik.

Dari data yang dikumpulkan, terlihat bahwa pemahaman mahasiswa terhadap konsep dualisme partikel-gelombang sangat dipengaruhi oleh cara materi disampaikan. Metode pengajaran yang berbasis ceramah cenderung kurang efektif untuk materi yang abstrak dan membutuhkan visualisasi yang kuat. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan baru yang lebih adaptif terhadap kebutuhan mahasiswa, seperti pengintegrasian alat bantu visual, eksperimen sederhana, dan diskusi kelompok. Hal ini dapat memberikan kerangka kerja yang lebih baik bagi mahasiswa untuk memahami materi dengan cara yang lebih terstruktur dan mendalam.

Pembahasan

Hasil penelitian ini mengungkapkan tantangan signifikan yang dihadapi mahasiswa dalam memahami konsep dualisme partikel-gelombang, khususnya melalui eksperimen celah ganda. Berdasarkan kuesioner, mayoritas mahasiswa menganggap konsep-konsep seperti interferensi cahaya dan hubungan antara panjang gelombang serta pola interferensi sebagai materi yang sulit dipahami. Eksperimen celah ganda, yang melibatkan teori-teori abstrak dan hasil pengamatan yang tidak intuitif, menjadi salah satu topik paling kompleks. Kesulitan ini mencerminkan kurangnya efektivitas metode pembelajaran yang digunakan saat ini dalam menjelaskan konsep-konsep yang membutuhkan visualisasi mendalam.

Pengumpulan data melalui kuesioner dengan skala Likert menunjukkan bahwa tidak ada responden yang menilai topik ini sebagai "mudah" atau "sangat mudah," melainkan sebagian besar memberikan penilaian pada kategori "cukup" atau "sulit." Hal ini mengindikasikan bahwa pemahaman mereka terhadap materi membutuhkan pendekatan yang lebih interaktif dan mendalam. Salah satu tantangan utama yang diidentifikasi adalah kemampuan membedakan perilaku partikel dan gelombang, di mana 60% mahasiswa mengaku mengalami kesulitan. Keterbatasan ini mencerminkan pentingnya penggunaan alat bantu visual seperti simulasi untuk membantu mahasiswa memvisualisasikan fenomena yang sulit dibayangkan secara teoretis. Pernyataan tersebut didukung oleh Susanti et al (2023) yang menyatakan bahwa di era sekarang dibutuhkan pembelajaran menggunakan media teknologi digital untuk meningkatkan pemahaman materi yang diajarkan.

Pada tahap analisis data, ditemukan bahwa sebagian besar mahasiswa kesulitan memahami interferensi cahaya dan hubungan antara teori eksperimen celah ganda dengan aplikasinya di dunia nyata. Mahasiswa merasa bahwa tanpa panduan konkret, eksperimen ini hanya sekadar teori abstrak yang sulit relevan dengan pengalaman sehari-hari. Ketidaksesuaian ini menekankan perlunya pengajaran berbasis pengalaman nyata untuk menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik. Data wawancara mendukung temuan ini dengan menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa merasa bingung saat mencoba menghubungkan hasil eksperimen dengan konsep dualisme partikel-gelombang.

Salah satu saran utama yang muncul dari wawancara adalah pentingnya integrasi alat bantu visual seperti simulasi interaktif dan diskusi kelompok. Simulasi memungkinkan mahasiswa melihat pola interferensi secara langsung dan memahami variabel-variabel yang memengaruhi eksperimen. Diskusi kelompok, di sisi lain, memberikan ruang bagi mahasiswa untuk mendiskusikan konsep secara kolektif, yang membantu memperdalam pemahaman melalui interaksi dengan teman sebaya. Selain itu, eksperimen laboratorium yang sederhana namun relevan juga dianggap dapat meningkatkan pemahaman mereka terhadap teori yang kompleks (Handayani et al., 2024).

Penggunaan alat bantu digital seperti aplikasi simulasi fisika (misalnya PhET) diakui sangat membantu dalam memperkuat pemahaman mahasiswa terhadap konsep-konsep abstrak. Simulasi ini memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna dengan memungkinkan mahasiswa untuk

mengulangi eksperimen dan mengeksplorasi variabel-variabel yang relevan tanpa keterbatasan alat fisik (Alfauzia, 2023). Dengan demikian artikel online dan sumber belajar tambahan sering kali tidak cukup mendalam untuk menjawab pertanyaan spesifik yang muncul selama pembelajaran, menunjukkan perlunya sumber belajar yang lebih terstruktur dan sesuai dengan kebutuhan mereka (Ritonga et al., 2024).

Metode pengajaran yang ada belum sepenuhnya mendukung pemahaman mahasiswa terhadap konsep dualisme partikel-gelombang. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pembelajaran yang lebih inovatif, seperti penggunaan alat bantu visual, simulasi interaktif, dan eksperimen sederhana yang relevan. Selain itu, pembelajaran berbasis diskusi dan eksplorasi aktif juga penting untuk meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam menghubungkan teori dengan praktik. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan kerangka kerja yang lebih baik bagi mahasiswa dalam memahami konsep-konsep fisika kuantum yang kompleks.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa tantangan utama dalam memahami dualisme partikel-gelombang adalah kompleksitas teoritis dan kurangnya alat bantu yang relevan. Dengan mengadopsi metode pengajaran yang lebih interaktif dan menggunakan sumber belajar tambahan yang efektif, diharapkan mahasiswa dapat mengatasi kesulitan yang mereka hadapi dan memperoleh pemahaman yang lebih baik terhadap fisika kuantum. Penelitian ini memberikan landasan penting bagi pengembangan strategi pembelajaran

yang dapat meningkatkan kualitas pendidikan fisika kuantum di tingkat universitas.

DAFTAR RUJUKAN

- Alfauzia, R. (2023). *Pengaruh Penggunaan laboratorium Virtual PhET (Physics Education Technology) Terhadap Motivasi Belajar Siswa*. Jakarta: FITK UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Ansyah, Y. A. (2023). Upaya Meningkatkan Minat dan Prestasi Belajar Siswa Kelas IV Sekolah Dasar pada Pembelajaran IPA Menggunakan Strategi PjBL (Project-Based Learning). *Jurnal Ilmu Manajemen Dan Pendidikan (JIMPIAN)*, 3(1), 43–52. <https://doi.org/10.30872/jimpian.v3i1.2225>
- Ansyah, Y. A., Alfianita, A., & Syahkira, H. P. (2024). OPTIMIZING MATHEMATICS LEARNING IN FIFTH GRADES: THE CRITICAL ROLE OF EVALUATION IN IMPROVING STUDENT ACHIEVEMENT AND CHARACTER. *PROGRES PENDIDIKAN*, 5(3), 302–311. <https://prospek.unram.ac.id/index.php/PROSPEK/article/view/1120>
- Ansyah, Y. A., & Salsabilla, T. (2024). *Model Pembelajaran IPA di Sekolah Dasar*. Cahya Ghani Recovery.
- Darojat, Y., Suyanto, E., & Suana, W. (2015). Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Pada Konsep Dualisme Gelombang Partikel. *Jurnal Pembelajaran Fisika Universitas Lampung*, 3(1), 117398.
- Hanam, E. S., Van Harling, V. N., Agustina, E. B., Budirohmi, A., Rismawati, E., Pada, S. S., Agustine, D., Afrida, J., Irvani, A. I., & Arifuddin, W. (2024). *Elektron dalam Atom*. MEGA PRESS NUSANTARA.
- Handayani, A. A. A. T., Muhali, M., & Pahriah, P. (2024). Pengembangan Modul Berbasis Problem Based Learning (PBL) pada Materi Laju Reaksi. *Multi Discere Journal*, 3(1), 1–10.
- Moleong, L. J. (2018). *Metodologi penelitian kualitatif*. PT Remaja Rosdakarya.
- Putra, D. S., & Wiza, O. H. (2019). Analisis sikap siswa terhadap mata pelajaran fisika di SMA Ferdy Ferry Putra Kota Jambi. *UPEJ Unnes Physics Education Journal*, 8(3), 299–311.
- Ritonga, M., Sartika, R., & Wijaya, A. (2024). Pembelajaran Berdiferensiasi: Menjawab Kebutuhan Pendidikan Personal di Era Society 5.0. *Pedagogik: Jurnal Pendidikan*, 19(2), 163–170.
- Sani, R. A., & Kadri, M. (2022). *Fisika kuantum*. Bumi Aksara.
- Setiawan, Z., Pustikayasa, I. M., Jayanegara, I. N., Setiawan, I. N. A. F., Putra, I. N. A. S., Yasa, I. W. A. P., Asry, W., Arsana, I. N. A., Chaniago, G. G., & Wibowo, S. E. (2023). *PENDIDIKAN MULTIMEDIA: Konsep dan Aplikasi pada era revolusi industri 4.0 menuju society 5.0*. PT.

Sonpedia Publishing Indonesia.

Sitorus, Z., Renyaan, A. S., SI, S., Kmurawak, R. M. B., & Lokollo, P. D. (2024). *Tinjauan mendalam tentang ilmu komputer: konsep dasar, algoritma, dan perkembangan terkini: buku referensi*. PT. Media Penerbit Indonesia.

Sugiyono, S. (2022). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D*. Alfabeta.

Susanti, L., Handriyantini, E., & Hamzah, A. (2023). *Guru Kreatif Inovatif Era Merdeka Belajar*. Penerbit Andi.

Widyastuti, I., Nanang Winarno, Emiliannur, E., & Wahyuningsih, Y. (2024). Meningkatkan Minat Belajar Siswa Menggunakan Model Discovery Learning Berbantuan

Simulasi PhET pada Topik Usaha, Energi dan Pesawat Sederhana. *Jurnal Tadris IPA Indonesia*, 4(1), 65–85.

<https://doi.org/10.21154/jtii.v4i1.2978>

Wulandari, A. Y. R. (2012). *Pembelajaran Ipa Menggunakan Metode Eksperimen Dipandu Dengan Animasi Dan Komik Ditinjau Dari Kemampuan Verbal Dan Gaya Belajar Siswa (Materi Pemantulan Cahaya Kelas Viii Semester 2 Smp Negeri 2 Kartasura Tahun Pelajaran 2011/2012)*. UNS (Sebelas Maret University).

Yusuf, I. (2013). Pengembangan perangkat pembelajaran fisika berbasis media laboratorium virtual pada materi Dualisme Gelombang Partikel di SMA Tut Wuri Handayani Makassar. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 2(2).