



## Pengembangan Media Pembelajaran Virtual Reality untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Fisika pada Siswa SMA

Dini Rohmayani<sup>1\*</sup>, Castaka Agus Sugianto<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Politeknik TEDC, Indonesia

\*Penulis Korespondensi: [dinirohmayani@poltektedc.ac.id](mailto:dinirohmayani@poltektedc.ac.id)

**Abstract.** *The learning of physics, particularly mechanics, poses significant challenges for high school students. Concepts such as Newton's laws, energy, and three-dimensional vectors are often difficult to grasp using traditional teaching methods. Virtual Reality (VR) has emerged as a promising solution by providing an immersive and interactive learning environment. This study aims to evaluate the effectiveness of VR-based learning media in enhancing students' understanding of physics concepts, with a specific focus on mechanics. An experimental design was employed, consisting of two groups: an experimental group using VR for learning and a control group receiving traditional instruction. Pre-test and post-test assessments were used to measure the improvement in students' conceptual understanding of physics. The findings indicate that students in the experimental group demonstrated a significant improvement in their understanding of complex physics concepts, such as projectile motion, force, and Newton's laws, compared to the control group. Students in the experimental group also exhibited higher levels of engagement and motivation, with VR's immersive nature encouraging active participation in learning. The study concludes that VR is an effective tool for enhancing students' comprehension of abstract and complex physics concepts, improving their visualization and problem-solving skills. Furthermore, VR-based learning provides students with opportunities to conduct virtual experiments and simulations that may not be possible in traditional classroom settings. The implications of this study suggest that VR should be integrated into the physics curriculum to improve learning outcomes, especially in schools with access to the necessary technology. Educators and curriculum developers are encouraged to explore VR's potential in fostering a more engaging and effective physics education.*

**Keywords:** *Educational Technology; Immersive Learning; Physics Education; Virtual Reality; Visual Learning.*

**Abstrak.** Pembelajaran fisika, terutama mekanika, seringkali menjadi tantangan besar bagi siswa SMA. Konsep-konsep seperti hukum Newton, energi, dan vektor tiga dimensi sering kali sulit dipahami menggunakan metode pembelajaran tradisional. *Virtual Reality* (VR) muncul sebagai solusi yang menjanjikan dengan menyediakan lingkungan pembelajaran yang imersif dan interaktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas media pembelajaran berbasis VR dalam meningkatkan pemahaman konsep fisika siswa, dengan fokus pada materi mekanika. Penelitian ini menggunakan desain eksperimen dengan dua kelompok: kelompok eksperimen yang menggunakan VR dan kelompok kontrol yang menggunakan metode pembelajaran tradisional. Penilaian pre-test dan post-test dilakukan untuk mengukur peningkatan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep fisika. Temuan penelitian menunjukkan bahwa siswa pada kelompok eksperimen mengalami peningkatan pemahaman yang signifikan dalam konsep-konsep fisika yang kompleks, seperti gerak proyektil, gaya, dan hukum Newton, dibandingkan dengan kelompok kontrol. Siswa dalam kelompok eksperimen juga menunjukkan tingkat keterlibatan dan motivasi yang lebih tinggi, di mana sifat imersif VR mendorong partisipasi aktif dalam pembelajaran. Penelitian ini menyimpulkan bahwa VR adalah alat yang efektif untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep fisika yang abstrak dan kompleks, meningkatkan keterampilan visualisasi dan pemecahan masalah. Selain itu, pembelajaran berbasis VR memberikan kesempatan bagi siswa untuk melakukan eksperimen dan simulasi virtual yang mungkin tidak dapat dilakukan di lingkungan kelas tradisional. Implikasi dari penelitian ini menunjukkan bahwa VR harus diintegrasikan ke dalam kurikulum fisika untuk meningkatkan hasil belajar, terutama di sekolah-sekolah yang memiliki akses ke teknologi yang diperlukan. Pendidik dan pengembang kurikulum didorong untuk mengeksplorasi potensi VR dalam menciptakan pengalaman pendidikan fisika yang lebih menarik dan efektif.

**Kata kunci:** Edukasi Fisika; Pembelajaran Imersif; Pembelajaran Visual; Teknologi Pendidikan; *Virtual Reality*.

### 1. LATAR BELAKANG

Pembelajaran fisika, terutama materi mekanika, sering kali menghadapi tantangan besar bagi siswa, khususnya di tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA). Konsep-konsep abstrak seperti gaya, energi, dan hukum Newton sering kali tidak intuitif, sehingga sulit dipahami

secara menyeluruh oleh siswa (Aragoneses & Messer, 2020). Selain itu, materi ini sering kali disampaikan dengan gambar statis dan model matematika yang tidak mudah dipahami tanpa bantuan media yang tepat (Ryan, Wilcox, & Pollock, 2018). Salah satu aspek yang paling menantang adalah keterkaitan antara fisika dan matematika, yang dikenal dengan istilah "*physmatics*," di mana siswa sering kesulitan dalam menghubungkan konsep-konsep fisika dengan operasi matematika yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah (Caballero, Wilcox, Pepper, & Pollock, 2013).

Salah satu solusi yang menjanjikan untuk mengatasi kesulitan ini adalah penggunaan teknologi *Virtual Reality* (VR). VR menciptakan lingkungan belajar yang imersif dan interaktif, yang memungkinkan siswa untuk berinteraksi langsung dengan objek-objek fisika dalam ruang tiga dimensi. Hal ini dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep fisika yang sulit divisualisasikan dalam metode pembelajaran tradisional (Lamb, 2022). Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji efektivitas media pembelajaran berbasis VR untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi mekanika, dengan memanfaatkan simulasi tiga dimensi yang memungkinkan siswa untuk berinteraksi dengan konsep-konsep tersebut secara lebih mendalam (Campos, Hidrogo, & Zavala, 2022).

Manfaat penggunaan VR dalam pembelajaran fisika terlihat jelas dalam berbagai penelitian. Salah satunya adalah peningkatan pemahaman siswa yang signifikan dalam pembelajaran kinematika proyektil, di mana siswa yang menggunakan VR menunjukkan peningkatan pemahaman hingga 52% dibandingkan dengan metode tradisional (Tito Cruz, Coluci, & Moraes, 2023). Selain itu, pengalaman belajar yang imersif ini juga dapat meningkatkan keterlibatan dan motivasi siswa dalam pembelajaran. Studi menunjukkan bahwa dengan terlibat langsung dalam simulasi, siswa merasa lebih terhubung dengan materi yang diajarkan, yang meningkatkan motivasi mereka untuk belajar (Kwok, Yeo, Wong, Loo, & Lee, 2023). Lebih jauh lagi, VR memungkinkan siswa untuk melakukan eksperimen virtual yang mungkin sulit dilakukan di laboratorium fisika sekolah, memberikan mereka pengalaman belajar yang lebih kaya dan mendalam (Alipour et al., 2024).

Namun, meskipun manfaatnya besar, penggunaan VR dalam pendidikan juga menghadapi beberapa tantangan, seperti biaya dan infrastruktur yang tinggi, serta kebutuhan untuk pelatihan bagi guru agar dapat mengintegrasikan teknologi ini secara efektif ke dalam kurikulum (Ramadhan et al., 2024). Selain itu, masalah teknis dan kesehatan, seperti pengaturan perangkat dan potensi *cybersickness*, juga perlu diperhatikan agar penggunaan VR dapat berjalan lancar dalam proses pembelajaran (Pirker, Lesjak, & Guetl, 2017).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji efektivitas media pembelajaran berbasis VR dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep fisika, khususnya mekanika. Diharapkan media pembelajaran ini dapat meningkatkan pemahaman konsep siswa secara signifikan, meningkatkan keterlibatan dan motivasi mereka dalam belajar, serta menyediakan pengalaman belajar yang lebih imersif dan realistis yang mendalami pemahaman mereka terhadap konsep-konsep fisika yang kompleks (Serevina & Lulu, 2021; Alabidi et al., 2024).

## 2. KAJIAN TEORITIS

*Virtual Reality* (VR) menawarkan berbagai keuntungan dalam pendidikan fisika, terutama dalam materi yang kompleks seperti mekanika. Salah satu keuntungan utama dari VR adalah kemampuannya untuk menciptakan pengalaman belajar yang interaktif dan imersif, di mana siswa dapat berinteraksi langsung dengan objek fisika dalam ruang tiga dimensi. Pengalaman ini meningkatkan keterlibatan dan motivasi siswa dalam memahami konsep-konsep fisika yang sulit dipahami melalui metode pembelajaran tradisional (Al Awadhi et al., 2018). Dengan menggunakan VR, siswa dapat mengeksplorasi dan memanipulasi objek virtual, yang sangat membantu dalam memvisualisasikan konsep-konsep abstrak seperti gerak relatif dan vektor tiga dimensi.

Selain itu, simulasi dan laboratorium virtual yang disediakan oleh VR memberikan lingkungan yang aman bagi siswa untuk melakukan eksperimen tanpa risiko merusak peralatan. Ini sangat penting dalam pendidikan fisika, di mana eksperimen fisika sering kali melibatkan alat yang mahal dan berbahaya. Dengan VR, siswa dapat mengulang eksperimen sebanyak yang mereka inginkan, meningkatkan pemahaman mereka terhadap fenomena fisika yang sedang dipelajari (Iqaira, Sotelo, & Sharhorodska, 2019; Rahman et al., 2022).

Visualisasi Konsep Abstrak juga menjadi salah satu kekuatan utama VR dalam pendidikan fisika. Beberapa konsep yang sulit divisualisasikan menggunakan metode tradisional, seperti hukum Newton atau gerak proyektil, menjadi lebih mudah dipahami ketika siswa dapat melihat dan berinteraksi langsung dengan objek dalam lingkungan VR. Hal ini telah terbukti meningkatkan pemahaman siswa secara signifikan, dibandingkan dengan pendekatan pembelajaran konvensional (Oshiro, Ueda, & Nakasho, 2024).

Pembelajaran Personal dan Gamifikasi adalah dua elemen lain yang sangat mendukung penerapan VR dalam pendidikan fisika. VR memungkinkan pengalaman belajar yang lebih personal dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan siswa. Selain itu, gamifikasi dalam VR dapat membuat proses pembelajaran lebih menarik dan menyenangkan, yang secara langsung

meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa (Shiva Rama Krishna et al., 2024). Pendekatan ini mendorong siswa untuk berkompetisi dalam menyelesaikan masalah fisika dengan cara yang lebih dinamis dan interaktif.

Meskipun VR menawarkan banyak keuntungan, penerapannya dalam pendidikan fisika juga menghadapi beberapa tantangan. Salah satu tantangan utama adalah biaya dan aksesibilitas, di mana perangkat keras dan perangkat lunak VR masih mahal, yang menjadi hambatan bagi banyak institusi pendidikan, terutama di negara berkembang (Rao, Rajesh, & Raut, 2024). Selain itu, ada juga tantangan dalam pelatihan guru, karena mereka perlu memahami cara menggunakan teknologi ini secara efektif, yang memerlukan waktu dan sumber daya untuk mengatasi kurva pembelajaran yang curam (Alabidi et al., 2024).

Masalah teknis seperti malfungsi perangkat dan *cybersickness* juga dapat mengganggu proses pembelajaran. Beberapa siswa mungkin mengalami ketidaknyamanan fisik saat menggunakan VR, yang dapat mengurangi efektivitas pembelajaran (Shiva Rama Krishna et al., 2024). Oleh karena itu, tantangan-tantangan ini harus diperhatikan untuk memastikan penggunaan VR dalam pendidikan fisika berjalan dengan lancar dan efektif.

Beberapa studi sebelumnya telah meneliti penggunaan VR untuk mengajarkan berbagai konsep fisika. Sebagai contoh, meskipun penggunaan VR dalam mengajarkan hukum Newton menunjukkan adanya minat yang tinggi dari siswa, pemahaman konseptual mereka tidak mengalami peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan metode pembelajaran tradisional (Abulrub, Attridge, & Williams, 2011). Sebaliknya, penggunaan VR dalam gerak proyektil, seperti aplikasi HoloThrow, menunjukkan peningkatan pemahaman dan keterlibatan siswa, yang lebih mampu memahami dinamika gerak proyektil setelah menggunakan VR (Oshiro et al., 2024).

Dalam konteks vektor tiga dimensi, aplikasi VR dalam kursus fisika universitas telah menunjukkan bahwa siswa yang menggunakan VR untuk memvisualisasikan vektor tiga dimensi memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan kelompok kontrol yang menggunakan metode tradisional (Campos, Hidrogo, & Zavala, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa VR sangat efektif untuk mengajarkan konsep-konsep fisika yang memerlukan pemahaman spasial dan visualisasi yang mendalam.

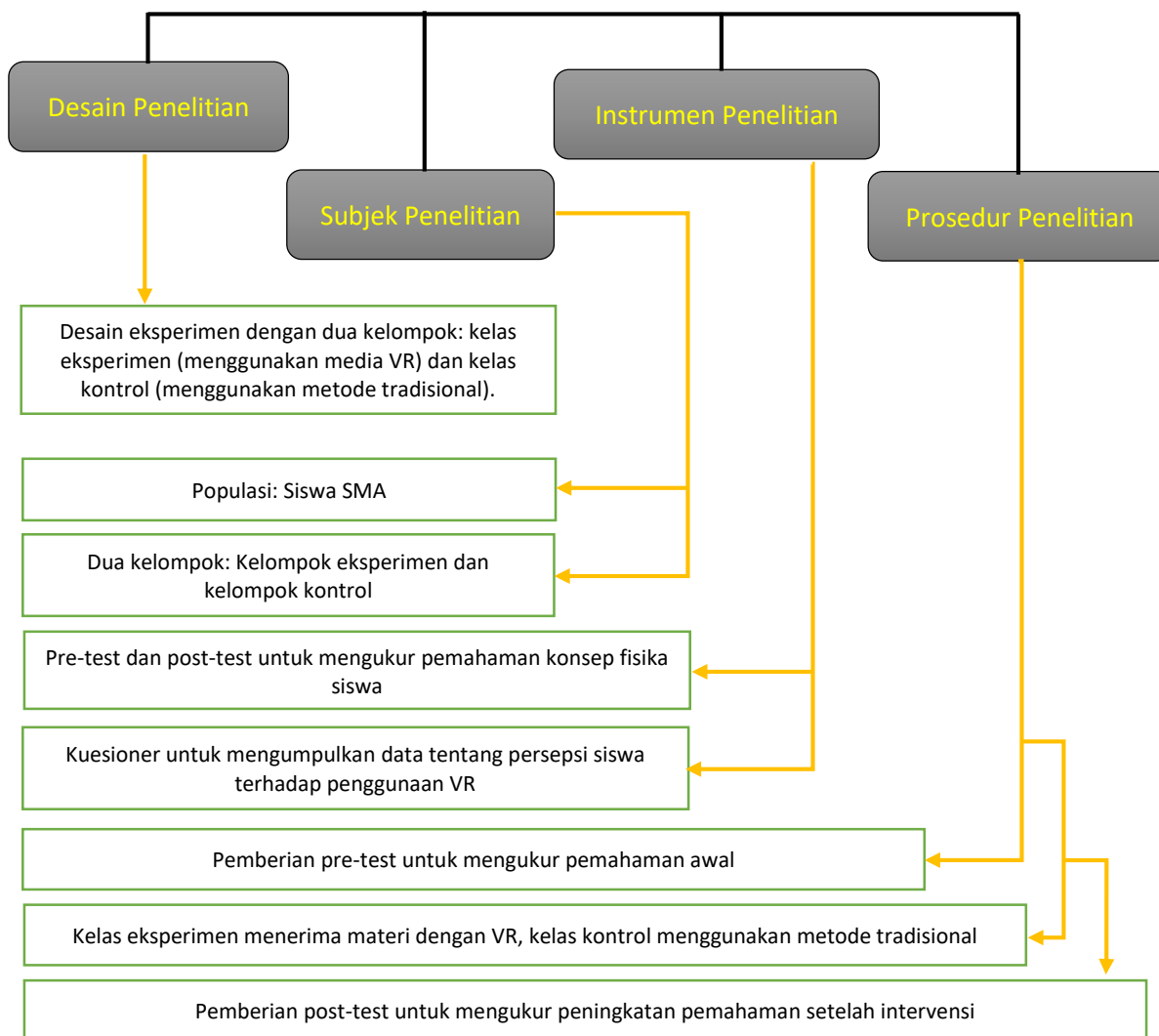
Penggunaan VR dalam pendidikan fisika dapat lebih efektif jika diintegrasikan dengan model pembelajaran berbasis masalah dan penemuan. Model-model ini menekankan pada pembelajaran interaktif, yang dapat meningkatkan hasil belajar siswa dan menjaga fokus mereka pada materi yang sedang dipelajari (Al Awadhi et al., 2018). Selain itu, penerapan laboratorium virtual memungkinkan siswa untuk melakukan eksperimen berulang kali tanpa

risiko, yang sangat berguna di sekolah atau universitas dengan keterbatasan fasilitas dan peralatan (Iqira et al., 2019).

### **3. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen kuasi dengan dua kelompok: kelompok eksperimen yang menggunakan media pembelajaran Virtual Reality (VR) dan kelompok kontrol yang menggunakan metode pembelajaran tradisional. Subjek penelitian terdiri dari siswa SMA yang dipilih secara acak, dan masing-masing kelompok diberikan pre-test untuk mengukur pemahaman awal mereka terhadap materi fisika. Setelah intervensi, kelompok eksperimen mengikuti pembelajaran fisika dengan VR, sedangkan kelompok kontrol mengikuti pembelajaran tradisional. Kedua kelompok kemudian diberikan post-test untuk mengukur perubahan pemahaman mereka.

Instrumen penelitian meliputi pre-test dan post-test yang dirancang untuk mengukur pemahaman konsep fisika siswa, serta kuesioner untuk mengumpulkan data mengenai persepsi siswa terhadap penggunaan VR. Data yang diperoleh dari tes dan kuesioner dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan VR dalam meningkatkan pemahaman fisika. Prosedur penelitian ini memungkinkan perbandingan antara dua metode pembelajaran untuk menilai seberapa besar pengaruh media VR terhadap pemahaman konsep fisika siswa.



Gambar 1. Struktur Diagram Alir Metodologi Penelitian.

### Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen kuasi dengan pendekatan pre-test dan post-test untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan VR dalam pembelajaran fisika. Dua kelompok siswa dipilih secara acak: kelompok eksperimen yang menggunakan media pembelajaran VR dan kelompok kontrol yang menggunakan metode pembelajaran tradisional. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil pre-test dan post-test kedua kelompok untuk menilai peningkatan pemahaman konsep fisika siswa.

### Subjek Penelitian

Subjek penelitian terdiri dari siswa SMA yang dipilih secara acak dari dua kelas yang berbeda. Kelompok eksperimen terdiri dari siswa yang akan menggunakan media pembelajaran VR, sementara kelompok kontrol terdiri dari siswa yang akan mengikuti pembelajaran fisika dengan metode konvensional. Pemilihan subjek dilakukan untuk memastikan representativitas dan mengurangi bias dalam penelitian.

### **Instrumen Penelitian**

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tes tertulis berupa pre-test dan post-test yang dirancang untuk mengukur pemahaman konsep fisika siswa sebelum dan setelah intervensi. Tes ini mencakup soal-soal yang menguji pemahaman siswa terhadap konsep-konsep fisika yang diajarkan. Selain itu, kuesioner digunakan untuk mengumpulkan data mengenai persepsi siswa terhadap penggunaan VR dalam pembelajaran fisika.

### **Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian dimulai dengan pemberian pre-test kepada kedua kelompok untuk mengukur tingkat pemahaman awal siswa terhadap materi fisika. Selanjutnya, kelompok eksperimen mengikuti sesi pembelajaran menggunakan media VR, sementara kelompok kontrol mengikuti pembelajaran dengan metode tradisional. Setelah sesi pembelajaran, kedua kelompok diberikan post-test untuk menilai peningkatan pemahaman mereka. Data yang diperoleh dari pre-test dan post-test dianalisis untuk menentukan efektivitas penggunaan VR dalam meningkatkan pemahaman konsep fisika siswa.

## **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Hasil Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi peningkatan pemahaman konsep fisika pada siswa yang menggunakan media pembelajaran *Virtual Reality* (VR) dibandingkan dengan siswa yang menggunakan metode pembelajaran tradisional. Hasil menunjukkan bahwa kelompok eksperimen yang menggunakan VR mengalami peningkatan yang signifikan dalam pemahaman konsep fisika, dengan rata-rata skor post-test yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok kontrol. Peningkatan ini mencerminkan efektivitas VR dalam memfasilitasi pemahaman konsep-konsep fisika yang abstrak dan kompleks, seperti gerak proyektil dan hukum Newton. Peningkatan yang paling signifikan terlihat pada konsep gerak relatif dan vektor tiga dimensi, yang merupakan materi yang dikenal sulit dipahami siswa dengan metode tradisional. Dalam kelompok eksperimen, siswa menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam visualisasi dan pemahaman konsep-konsep ini setelah menggunakan VR, yang membuktikan bahwa VR efektif dalam meningkatkan pemahaman konseptual siswa.

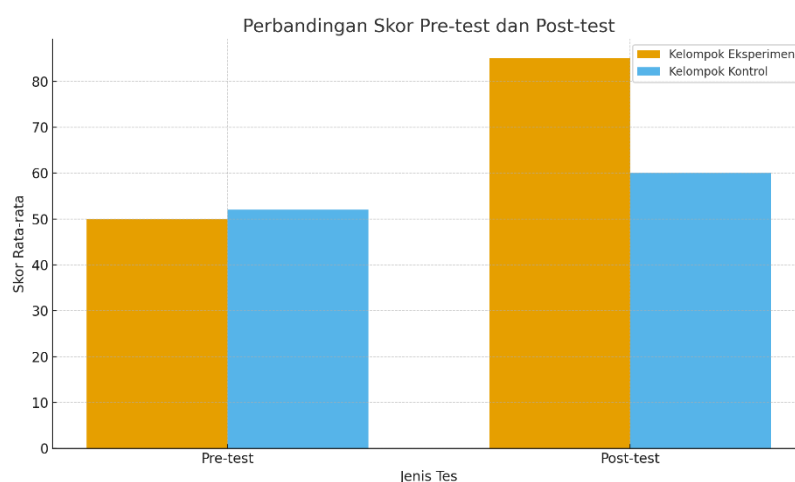
### **Pembahasan**

Beberapa faktor memengaruhi peningkatan pemahaman konsep fisika pada siswa yang menggunakan VR. Pertama, interaksi dengan media VR memungkinkan siswa untuk berinteraksi secara langsung dengan objek fisika dalam ruang tiga dimensi. Hal ini memberikan pengalaman belajar yang lebih imersif dan interaktif, yang dapat meningkatkan keterlibatan

siswa dalam proses pembelajaran. Pengalaman ini mendukung teori konstruktivisme, yang menyatakan bahwa pembelajaran terjadi melalui interaksi aktif dengan lingkungan. VR membantu siswa untuk membangun pengetahuan mereka secara langsung, dengan memungkinkan mereka untuk mengeksplorasi dan memanipulasi objek-objek fisika dalam lingkungan virtual.

Selain itu, cara kerja VR yang menggabungkan elemen visual, auditori, dan kinestetik mengurangi beban kognitif siswa, sehingga mereka dapat memfokuskan perhatian pada konsep-konsep yang sedang dipelajari. Dengan VR, siswa tidak hanya melihat konsep-konsep fisika, tetapi juga berinteraksi dengan objek fisika dalam simulasi, yang membantu mereka memahami hubungan antar objek dan fenomena alam dengan lebih baik. Respon siswa terhadap penggunaan VR juga sangat positif. Sebagian besar siswa merasa lebih terlibat dan termotivasi dalam proses pembelajaran, yang berkontribusi pada peningkatan pemahaman mereka. Elemen gamifikasi dalam VR juga berperan dalam meningkatkan motivasi siswa untuk belajar. Penggunaan VR dengan elemen permainan membuat pembelajaran lebih menarik dan kompetitif, yang mendorong siswa untuk berpartisipasi aktif dalam eksperimen dan simulasi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa media pembelajaran berbasis VR dapat meningkatkan pemahaman konsep fisika, terutama dalam materi yang kompleks seperti mekanika, dengan menciptakan pengalaman pembelajaran yang lebih interaktif dan imersif. Penggunaan VR memberikan kesempatan kepada siswa untuk belajar melalui eksplorasi langsung, yang sangat membantu dalam memahami konsep-konsep fisika yang sulit dipahami melalui metode tradisional.



**Gambar 2.** Perbandingan Skor Pre-test dan Post-test.

**Tabel 1.** Perbandingan Pre-test dan Post-test.

Kelompok	Pre-test	Post-test
Eksperimen	50	85
Kontrol	52	60

Berikut adalah grafik dan tabel yang mendukung penyajian data hasil penelitian tentang peningkatan pemahaman konsep fisika pada siswa yang menggunakan media pembelajaran VR. Grafik ini memperlihatkan perbandingan antara kelompok eksperimen (yang menggunakan VR) dan kelompok kontrol (yang menggunakan metode pembelajaran tradisional) dalam tes pre-test dan post-test.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan media pembelajaran berbasis *Virtual Reality* (VR) efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep fisika pada siswa SMA, khususnya dalam materi mekanika. Siswa yang menggunakan VR menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam pemahaman konsep fisika, seperti gerak relatif dan vektor tiga dimensi, dibandingkan dengan siswa yang menggunakan metode pembelajaran tradisional. Media VR memberikan pengalaman belajar yang lebih imersif dan interaktif, yang mendorong keterlibatan siswa dan membantu mereka memahami konsep-konsep fisika yang sulit dipahami melalui metode pembelajaran konvensional. Oleh karena itu, VR dapat dianggap sebagai alat yang efektif untuk meningkatkan pemahaman konsep fisika, meningkatkan motivasi siswa, dan memberikan pengalaman pembelajaran yang lebih mendalam.

### Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar pendidik memperhatikan penggunaan teknologi VR dalam pembelajaran fisika dengan memberikan pelatihan yang memadai untuk mengintegrasikan VR secara efektif ke dalam kurikulum. Selain itu, pengembang media pembelajaran perlu memastikan bahwa aplikasi VR yang dikembangkan didasarkan pada teori pembelajaran yang kuat, untuk memaksimalkan efektivitasnya dalam meningkatkan pemahaman siswa. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengeksplorasi penerapan VR pada materi fisika lainnya dan mengevaluasi pengaruh jangka panjang penggunaan VR dalam pembelajaran terhadap pemahaman konsep-konsep yang lebih kompleks serta dampaknya terhadap prestasi akademik siswa.

## DAFTAR REFERENSI

- Abulrub, A. G., Attridge, A., & Williams, M. A. (2011). Virtual reality in engineering education: The future of creative learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 6(4), 4–11. <https://doi.org/10.3991/ijet.v6i4.1766>
- Al Awadhi, S., Al Habib, N., Al-Murad, D., Al Deei, F., Al Houti, M., Beyrouthy, T., & Al-Kork, S. (2018). Interactive virtual reality educational application. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 3(4), 72–82. <https://doi.org/10.25046/aj030409>
- Alabidi, S., Alarabi, K., Kaba, A., El-Saleh, M., & Alabedi, F. (2024). A systematic review of the transformative role of virtual reality in physics education. *Global Congress on Emerging Technologies (GCET 2024)*, 29–34. <https://doi.org/10.1109/GCET64327.2024.10934524>
- Alipour, S., Rah, A., Karki, B., Burris, J., Coward, L., & Liao, T. (2024). Enhancing physics education: Designing customized virtual reality for teaching crystalline structures. *2024 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct 2024)*, 549–552. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct64951.2024.00158>
- Aragoneses, A., & Messer, R. (2020). Developing educational YouTube videos as a tool to learn and teach physics. *Physics Teacher*, 58(7), 488–490. <https://doi.org/10.1119/10.0002068>
- Bader, S., Abotaleb, I., Hosny, O., & Nassar, K. (2023). The incorporation of learning theories in VR-based safety training programs within the construction industry. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 363, pp. 285–305). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-34593-7\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-031-34593-7_19)
- Caballero, M. D., Wilcox, B. R., Pepper, R. E., & Pollock, S. J. (2013). ACER: A framework on the use of mathematics in upper-division physics. *AIP Conference Proceedings*, 1513, 90–93. <https://doi.org/10.1063/1.4789659>
- Campos, E., Hidrogo, I., & Zavala, G. (2022). Impact of virtual reality use on the teaching and learning of vectors. *Frontiers in Education*, 7, 965640. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.965640>
- Dagher, S., Fekiri, C., Akhozheya, B., Al Ali, A., Kakazu, L., Alebri, T., Almashamta, N., Alhebsi, R., & Aldhanhani, R. (2024). Enhancing science education through virtual laboratories: A path to interactive and immersive learning experiences. *2024 International Conference on Open Innovation and Digital Transformation (OIDT 2024)*. <https://doi.org/10.1109/OIDT59407.2024.11082703>
- Huang, H.-M., Rauch, U., & Liaw, S.-S. (2010). Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach. *Computers & Education*, 55(3), 1171–1182. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.05.014>
- Iqira, D., Sotelo, B., & Sharhorodska, O. (2019). A gamified mobile-based virtual reality laboratory for physics education: Results of a mixed approach. In *Communications in Computer and Information Science* (Vol. 1034, pp. 247–254). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23525-3\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23525-3_32)
- Keller, T., Glauser, P., Ebert, N., & Brucker-Kley, E. (2018). Virtual reality at secondary school – First results. *Proceedings of the 15th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age (CELDA 2018)*, 53–60. <https://doi.org/10.1109/CELDA.2018.00015>

- Kortemeyer, G. (2023). Writing virtual reality teaching resources. *Physics Teacher*, 61(2), 107–109. <https://doi.org/10.1119/5.0067963>
- Kwok, B. W. J., Yeo, A., Wong, A., Loo, B. L. W., & Lee, J. S. A. (2023). Improving immersive virtual reality training of bioreactor operations using gamification. *2023 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE 2023)*. <https://doi.org/10.1109/TALE56641.2023.10398406>
- Lamb, R. (2022). Virtual reality and science, technology, engineering, and mathematics education. In *International Encyclopedia of Education* (4th ed., pp. 189–197). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818630-5.13075-1>
- Lui, A. L. C., Not, C., & Wong, G. K. W. (2023). Theory-based learning design with immersive virtual reality in science education: A systematic review. *Journal of Science Education and Technology*, 32(3), 390–432. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10035-2>
- Mahmoudi-Dehaki, M., & Nasr-Esfahani, N. (2024). Educational virtual reality (VR): Revolutionizing future academic practices. In *Creating Immersive Learning Experiences Through Virtual Reality (VR)* (pp. 105–128). <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-6407-9.ch005>
- Marougkas, A., Troussas, C., Krouska, A., & Sgouropoulou, C. (2023). Virtual reality in education: A review of learning theories, approaches and methodologies for the last decade. *Electronics*, 12(13), 2832. <https://doi.org/10.3390/electronics12132832>
- Momenipour, A., Pennathur, P. R., Pennathur, A., & Boswell, B. (2024). Work in progress: Strategizing the integration of VR and AR in STEM education. In *ASEE Annual Conference and Exposition Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/iSTEM-Ed62750.2024.10663154>
- Oshiro, N., Ueda, T., & Nakasho, K. (2024). Enhancing learning support functions for projectile motion in the VR application HoloThrow. *2024 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-Taiwan)*, 731–732. <https://doi.org/10.1109/ICCE-Taiwan62264.2024.10674175>
- Pirker, J., Lesjak, I., & Guetl, C. (2017). Maroon VR: A room-scale physics laboratory experience. *ICALT 2017: IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 482–484. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2017.92>
- Qorbani, H. S., Arya, A., Nowlan, N., & Abdinejad, M. (2021). ScienceVR: A virtual reality framework for STEM education, simulation and assessment. *AIVR 2021: 4th IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality*, 267–275. <https://doi.org/10.1109/AIVR52153.2021.00060>
- Rahman, F., Mim, M. S., Baishakhi, F. B., Hasan, M., & Morol, M. K. (2022). A systematic review on interactive virtual reality laboratory. *ACM International Conference Proceeding Series*, 491–500. <https://doi.org/10.1145/3542954.3543025>
- Ramadhan, T., Jurizat, A., Rahmanullah, F., Minggra, R., & Kusuma, Y. (2024). Empowering architectural STEM education: Unveiling student experiences through virtual reality (VR) in Building Information Modeling (BIM) course. *9th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed 2024)*. <https://doi.org/10.1109/iSTEM-Ed62750.2024.10663154>
- Ryan, Q. X., Wilcox, B. R., & Pollock, S. J. (2018). Student difficulties with boundary conditions in the context of electromagnetic waves. *Physical Review Physics Education Research*, 14(2), 020126. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.020126>

- Scavarelli, A., Arya, A., & Teather, R. J. (2021). Virtual reality and augmented reality in social learning spaces: A literature review. *Virtual Reality*, 25(1), 257–277. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00444-8>
- Serevina, V., & Lulu, M. (2021). Learning media development based on virtual experiment to improve high school students' critical thinking skills in circular motion concept. *AIP Conference Proceedings*, 2320, 020052. <https://doi.org/10.1063/5.0039612>
- Shiva Rama Krishna, M., Suvanth, V. S., Shardul Anirudha, K., & Sarma, H. (2024). A case study on VR teaching: Projectile motion and gravity. *ISMAR-Adjunct 2024*, 329–330. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct64951.2024.00075>
- Sidhu, M. S., Lee, C. K., Hassan, Z., Mousakhani, S., Sidhu, K. K., & Anuar, A. (2024). Preliminary study on the perception of engineering students on metaverse. In *2024 6th IEEE Symposium on Computers and Informatics*, 12–17. <https://doi.org/10.1109/ISCI62787.2024.10668343>
- Tito Cruz, J., Coluci, V. R., & Moraes, R. (2023). ORUN-VR2: A VR serious game on projectile kinematics: Design, evaluation, and learning outcomes. *Virtual Reality*, 27(3), 2583–2604. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00824-w>