



UPAYA PENINGKATAN KEMAMPUAN NUMERASI SISWA KELAS XI SMAN 83
JAKARTA MELALUI METODE EKSPERIMEN VIRTUAL PhET

AFIT SUTIYAWAN¹, SUPARDI U.S²

^{1,2} Universitas Indraprasta PGRI

Email : afitsutiyawan@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan numerasi siswa kelas XI SMAN 83 Jakarta pada pokok bahasan *Dinamika Gerak* melalui metode eksperimen virtual menggunakan *PhET Interactive Simulations*. Penelitian dilakukan menggunakan metode Penelitian Tindakan Kelas (PTK) yang terdiri atas dua siklus. Setiap siklus melibatkan perencanaan, pelaksanaan, observasi, dan refleksi untuk mengevaluasi hasil dan efektivitas tindakan. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan pada kemampuan numerasi siswa, dengan skor rata-rata meningkat dari 8,02 (pra siklus) menjadi 13,14 (siklus pertama) dan 17,78 (siklus kedua). Persentase siswa yang mencapai kategori baik juga meningkat dari 36,1% (pra siklus) menjadi 69,4% (siklus pertama) dan 86,1% (siklus kedua). Penerapan eksperimen virtual terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep *Dinamika Gerak*, keterlibatan siswa, dan kemampuan numerasi secara keseluruhan. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode pembelajaran berbasis teknologi untuk mendukung pendidikan abad ke-21.

Kata Kunci: Numerasi, Dinamika Gerak, *PhET Interactive Simulations*, Penelitian Tindakan Kelas.

ABSTRACT

This study aims to improve the numeracy skills of 11th-grade students at SMAN 83 Jakarta in the topic of *Dynamics of Motion* through virtual experiments using *PhET Interactive Simulations*. The research employed Classroom Action Research (CAR) methodology, conducted in two cycles. Each cycle involved planning, implementation, observation, and reflection to evaluate the outcomes and effectiveness of the actions. Results revealed a significant improvement in students' numeracy skills, with the average score increasing from 8.02 (pre-cycle) to 13.14 (first cycle) and 17.78 (second cycle). The percentage of students achieving a good category also increased from 36.1% (pre-cycle) to 69.4% (first cycle) and 86.1% (second cycle). The application of virtual experiments proved effective in enhancing students' understanding of *Dynamics of Motion* concepts, engagement, and overall numeracy skills. This study contributes to the development of technology-based teaching methods to support 21st-century education.

Keywords: Numeracy, Dynamics of Motion, *PhET Interactive Simulations*, Classroom Action Research.

PENDAHULUAN

Memasuki abad ke-21, pendidikan menghadapi tantangan baru yang memerlukan pengembangan keterampilan penting, seperti kemampuan berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi. Keterampilan-keterampilan ini sangat diperlukan untuk mempersiapkan generasi muda dalam menghadapi kompleksitas dunia modern, baik dalam konteks akademik maupun kehidupan sehari-hari (Trilling & Fadel, 2009). Selain itu, perkembangan teknologi yang pesat juga menuntut siswa untuk menguasai literasi digital serta kemampuan numerasi sebagai bekal untuk menghadapi tantangan global (OECD, 2019).

Kemampuan numerasi, sebagai bagian integral dari literasi abad ke-21, menjadi dasar penting dalam penguasaan berbagai ilmu, termasuk fisika. Numerasi bukan hanya kemampuan



untuk menghitung, tetapi juga mencakup pemahaman, analisis, dan penerapan data kuantitatif dalam memecahkan masalah (OECD, 2019). Dalam pembelajaran fisika, kemampuan ini sangat penting untuk memahami konsep-konsep yang bersifat matematis, seperti dinamika gerak. Sayangnya, berbagai studi menunjukkan bahwa kemampuan numerasi siswa Indonesia masih berada pada tingkat yang rendah, baik secara nasional maupun internasional, seperti yang tercermin dalam laporan PISA (Kemendikbud, 2021).

Kondisi ini juga terlihat di SMAN 83 Jakarta, khususnya pada siswa kelas XI. Berdasarkan hasil evaluasi pembelajaran fisika, kemampuan siswa dalam menyelesaikan soal-soal yang melibatkan numerasi, terutama pada materi Dinamika Gerak, masih berada di bawah standar yang diharapkan. Hal ini ditunjukkan oleh rendahnya nilai ulangan harian dan kesulitan siswa dalam memahami hubungan antara hukum Newton dan analisis matematisnya (Susanti et al., 2020). Rendahnya kemampuan ini tidak hanya disebabkan oleh kompleksitas materi, tetapi juga oleh metode pembelajaran yang kurang interaktif dan kurangnya kesempatan untuk melakukan eksperimen secara langsung.

Materi Dinamika Gerak merupakan salah satu topik penting dalam fisika yang mempelajari gaya, percepatan, dan hubungan antara keduanya sesuai dengan hukum-hukum Newton. Pemahaman materi ini memerlukan pendekatan pembelajaran yang tidak hanya teoritis, tetapi juga aplikatif melalui eksperimen atau simulasi. Namun, keterbatasan fasilitas laboratorium di sekolah sering kali menjadi penghambat dalam pelaksanaan eksperimen fisika yang efektif (Hidayat & Nur, 2019). Hal ini menuntut adanya inovasi dalam metode pembelajaran untuk memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan mendalam.

Salah satu pendekatan inovatif yang dapat digunakan adalah eksperimen virtual berbasis teknologi, seperti PhET Interactive Simulations. PhET adalah platform pembelajaran berbasis simulasi yang memungkinkan siswa untuk memvisualisasikan konsep-konsep fisika secara interaktif (Perkins et al., 2012). Melalui eksperimen virtual ini, siswa dapat mengeksplorasi konsep Dinamika Gerak secara mandiri dan memahami hubungan antara variabel-variabel fisika tanpa terbatas oleh keterbatasan alat laboratorium fisik. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan PhET dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep fisika dan kemampuan numerasi mereka (Finkelstein et al., 2005; Sari et al., 2020).

Hasil penelitian oleh Herga dan Dinevski (2015) menunjukkan bahwa simulasi virtual seperti PhET mampu meningkatkan hasil belajar siswa secara signifikan dibandingkan dengan metode konvensional. Selain itu, Rutten et al. (2012) menemukan bahwa penggunaan simulasi komputer dalam pembelajaran sains tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep, tetapi juga memotivasi siswa untuk belajar lebih aktif. Penelitian ini menjadi dasar penting untuk mengaplikasikan eksperimen virtual PhET dalam pembelajaran fisika di SMAN 83 Jakarta.

Di SMAN 83 Jakarta, eksperimen virtual PhET diintegrasikan dalam pembelajaran materi Dinamika Gerak untuk mengatasi tantangan rendahnya kemampuan numerasi siswa. Pendekatan ini diharapkan dapat membantu siswa memahami materi secara lebih interaktif, meningkatkan kemampuan mereka dalam menyelesaikan soal numerik, serta menghubungkan konsep fisika dengan kehidupan sehari-hari. Selain itu, metode ini juga memberikan solusi praktis terhadap keterbatasan fasilitas laboratorium yang selama ini menjadi kendala.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas eksperimen virtual PhET dalam meningkatkan kemampuan numerasi siswa kelas XI SMAN 83 Jakarta pada materi Dinamika Gerak. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan pendekatan ini dalam konteks pembelajaran di sekolah. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan metode pembelajaran berbasis teknologi di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Penelitian Tindakan Kelas (PTK) atau Classroom Action Research (CAR) yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan numerasi siswa kelas XI SMAN 83 Jakarta pada materi Dinamika Gerak. PTK dipilih karena metode ini memungkinkan guru untuk melakukan perbaikan berkelanjutan dalam proses pembelajaran melalui siklus tindakan yang sistematis, yaitu perencanaan, pelaksanaan, observasi, dan refleksi (Kemmis & McTaggart, 1988). Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober hingga November 2024 dengan melibatkan siswa kelas XI MIPA sebagai subjek penelitian.

Pelaksanaan PTK dalam penelitian ini terdiri dari dua siklus. Setiap siklus dirancang untuk mengatasi kendala dan kekurangan pembelajaran sebelumnya, sekaligus memperbaiki strategi guna meningkatkan kemampuan numerasi siswa. Tahapan-tahapan dalam setiap siklus meliputi:

1. **Perencanaan:** Guru menyusun Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) berbasis eksperimen virtual menggunakan simulasi PhET, mempersiapkan perangkat pembelajaran dan instrumen penilaian, termasuk rubrik untuk menilai kemampuan numerasi siswa.
2. **Pelaksanaan:** Kegiatan pembelajaran dilakukan dengan memanfaatkan simulasi PhET. Siswa diajak untuk melakukan eksperimen virtual yang dirancang untuk membantu mereka memahami konsep Dinamika Gerak, seperti hukum Newton, gaya, dan percepatan.
3. **Observasi:** Selama proses pembelajaran, guru dan kolaborator melakukan observasi untuk memantau keterlibatan siswa dan mengumpulkan data mengenai kemampuan numerasi mereka.
4. **Refleksi:** Data dari observasi dan hasil penilaian dianalisis untuk mengevaluasi keberhasilan tindakan pada siklus tersebut. Refleksi ini digunakan sebagai dasar untuk menyusun perencanaan pada siklus berikutnya (Arikunto, 2015).

Setiap siklus berlangsung selama dua minggu dan mencakup 5 Jam pembelajaran (2 pertemuan) pembelajaran tiap minggunya.

1. Siklus 1:

- **Perencanaan:**
 - a. Menyusun Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) berbasis eksperimen virtual PhET.
 - b. Menyiapkan materi pembelajaran Dinamika Gerak, perangkat PhET, serta rubrik penilaian numerasi.
 - c. Menyusun instrumen observasi untuk memantau keterlibatan siswa.
- **Pelaksanaan:**
 - a. Guru memberikan pengantar tentang materi Dinamika Gerak dan memperkenalkan simulasi PhET.
 - b. Siswa melakukan eksperimen virtual menggunakan PhET, mengumpulkan data, dan menyelesaikan soal berbasis numerasi.
- **Observasi:**
 - a. Pengamatan dilakukan untuk melihat tingkat partisipasi siswa dalam eksperimen.
 - b. Penilaian dilakukan menggunakan rubrik numerasi.
- **Refleksi:**

Hasil evaluasi dianalisis untuk menentukan keberhasilan dan kekurangan tindakan pada siklus pertama, yang menjadi dasar untuk siklus kedua.

2. Siklus 2:

- **Perencanaan:**

Online Journal System : <https://jurnalp4i.com/index.php/academia>

Memperbaiki strategi berdasarkan refleksi siklus pertama, seperti memberikan panduan lebih rinci saat menggunakan PhET.

- **Pelaksanaan:**
Proses pembelajaran dilaksanakan dengan modifikasi sesuai hasil refleksi. Fokus ditekankan pada penerapan numerasi dalam analisis hasil eksperimen.
- **Observasi:**
Penilaian numerasi dan observasi keterlibatan siswa dilakukan kembali.
- **Refleksi:**
Hasil siklus kedua dianalisis untuk melihat peningkatan kemampuan numerasi siswa secara keseluruhan.

Penelitian ini dilaksanakan di SMA Negeri 83 Jakarta pada kelas XI-B dengan jumlah siswa sebanyak 36 orang. Penelitian dimulai pada 9 Oktober hingga 4 November 2024. Fokus penelitian ini adalah pada kemampuan numerasi siswa yang diukur melalui rubrik penilaian yang dirancang berdasarkan indikator numerasi. Rubrik ini mencakup aspek pemahaman konsep fisika, akurasi perhitungan, kemampuan menyelesaikan masalah berbasis data, penyajian hasil dalam bentuk tabel atau grafik, serta kemampuan menarik kesimpulan dari data eksperimen (OECD, 2019). Instrumen lain yang digunakan meliputi lembar observasi untuk mencatat aktivitas siswa selama pembelajaran dan tes kemampuan numerasi yang diberikan pada awal dan akhir setiap siklus.

Berikut adalah rubrik penilaian kemampuan numerasi dalam bentuk tabel:

Tabel 1. rubrik penilaian kemampuan numerasi

Aspek Penilaian	Deskripsi	Skor 1 (Kurang)	Skor 2 (Cukup)	Skor 3 (Baik)	Skor 4 (Sangat Baik)
Pemahaman Konsep Fisika	Kemampuan memahami konsep Dinamika Gerak (gaya, percepatan, hukum Newton).	Tidak memahami konsep sama sekali.	Memahami sebagian konsep, tetapi belum tepat.	Memahami konsep dengan baik, beberapa kesalahan kecil.	Memahami konsep secara menyeluruh tanpa kesalahan.
Akurasi Perhitungan	Kemampuan melakukan perhitungan numerik yang tepat berdasarkan data eksperimen.	Perhitungan banyak kesalahan.	Perhitungan ada beberapa kesalahan besar.	Perhitungan sebagian besar benar, beberapa kesalahan kecil.	Semua perhitungan benar tanpa kesalahan.
Pemecahan Masalah Numerik	Kemampuan menyelesaikan soal numerik berbasis data eksperimen secara mandiri.	Tidak mampu menyelesaikan soal.	Menyelesaikan sebagian soal dengan banyak bantuan.	Menyelesaikan sebagian besar soal dengan sedikit bantuan.	Menyelesaikan semua soal dengan mandiri.
Penyajian Data	Kemampuan menyajikan data eksperimen dalam bentuk tabel atau grafik.	Tidak mampu menyajikan data.	Menyajikan data dengan format kurang tepat.	Menyajikan data dengan format yang hampir benar.	Menyajikan data dengan format yang benar dan lengkap.



Aspek Penilaian	Deskripsi	Skor 1 (Kurang)	Skor 2 (Cukup)	Skor 3 (Baik)	Skor 4 (Sangat Baik)
Analisis Data dan Kesimpulan	Kemampuan menganalisis hasil eksperimen dan menarik kesimpulan yang logis.	Tidak mampu menganalisis atau membuat kesimpulan.	Analisis dan kesimpulan tidak sepenuhnya logis.	Analisis cukup baik, ada kesimpulan yang logis.	Analisis sangat baik dan kesimpulan logis serta mendalam.

Keterangan Penilaian:

- Total Skor Maksimal: 20
- Interpretasi Skor:
 - 1-5: Kurang
 - 6-10: Cukup
 - 11-15: Baik
 - 16-20: Sangat Baik

Rubrik ini digunakan untuk mengidentifikasi kemampuan numerasi siswa dalam konteks pembelajaran Dinamika Gerak melalui eksperimen virtual. Penelitian tindakan kelas ini dianggap berhasil jika lebih dari 80% siswa memiliki kemampuan numerasi dengan predikat Baik (memiliki skor nilai lebih atau sama dengan skor 11).

Data penelitian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Skor kemampuan numerasi siswa dibandingkan antara sebelum tindakan, setelah siklus pertama, dan setelah siklus kedua untuk mengukur peningkatan. Selain itu, hasil observasi digunakan untuk mengevaluasi efektivitas pendekatan eksperimen virtual dan keterlibatan siswa dalam pembelajaran. Keabsahan data dijaga melalui triangulasi, yaitu dengan membandingkan hasil penilaian, observasi, dan refleksi untuk memastikan validitas temuan (Miles & Huberman, 1994).

Metode ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif tentang efektivitas eksperimen virtual berbasis PhET dalam meningkatkan kemampuan numerasi siswa, sekaligus menjadi solusi terhadap kendala pembelajaran fisika yang sering kali bersifat abstrak dan sulit dipahami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

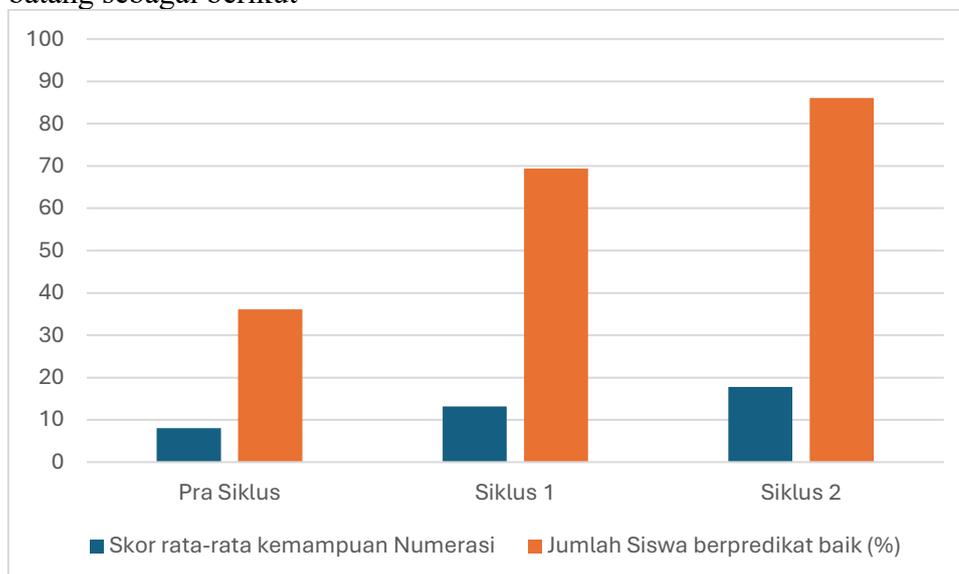
Hasil

Sebelum dilaksanakannya penelitian tindakan kelas, telah dilakukan observasi terhadap kemampuan numerasi siswa menggunakan rubrik diatas, dan kemudian dilakukan 2 siklus hingga data yang diperoleh dari tes keterampilan numerasi, observasi, dan angket dianalisis dalam dua siklus. Hasil menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan dalam keterampilan numerasi siswa setelah penerapan pendekatan berbasis eksperimen virtual PhET ini adalah sebagai berikut

Tabel 2. Hasil penilaian dan observasi kelampuan Numerasi siswa

Kegiatan	Skor rata-rata kemampuan Numerasi	Jumlah Siswa berpredikat baik (%)
Pra Siklus	8,02	36,1
Siklus 1	13,14	69,4
Siklus 2	17,78	86,1

Berdasarkan Tabel di atas, data peningkatan kemampuan numerasi siswa kelas XI-B SMAN 83 Jakarta, jika disajikan secara visual dapat digambarkan dalam bentuk grafik batang sebagai berikut



Gambar 1. Grafik peningkatan skor dan presentase jumlah siswa yang memiliki kemampuan numerasi minimal baik.

Berdasarkan tabel dan grafik diatas ini membuktikan bahwa penerapan metode eksperimen virtual berbasis PhET dapat secara bertahap meningkatkan kemampuan numerasi siswa. Peningkatan yang konsisten dari pra siklus hingga siklus kedua mengindikasikan efektivitas metode ini dalam mendukung pemahaman siswa terhadap konsep fisika yang abstrak.

Pembahasan

Hasil penelitian tindakan kelas (PTK) yang dilakukan pada siswa kelas XI SMAN 83 Jakarta menunjukkan peningkatan signifikan dalam kemampuan numerasi siswa setelah diterapkannya metode eksperimen virtual menggunakan *PhET Interactive Simulations* pada pokok bahasan *Dinamika Gerak*. Berikut adalah pembahasan hasil yang dicapai berdasarkan data skor rata-rata kemampuan numerasi dan persentase siswa dengan predikat baik dalam setiap siklus penelitian.

1) Hasil Pra Siklus

Pada tahap pra siklus, rata-rata kemampuan numerasi siswa hanya mencapai skor **8,02**, dengan **36,1% siswa** berada dalam kategori baik. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar siswa memiliki kemampuan numerasi yang rendah, terutama dalam memahami konsep *Dinamika Gerak*. Hasil ini sejalan dengan temuan sebelumnya oleh Suyitno (2018), yang menyebutkan bahwa rendahnya hasil belajar fisika sering kali disebabkan oleh metode pembelajaran yang kurang melibatkan siswa secara aktif. Dalam pembelajaran pra siklus, metode pengajaran masih bersifat konvensional, tanpa memanfaatkan media interaktif seperti PhET.

2) Hasil Siklus 1

Setelah dilakukan tindakan pada siklus pertama dengan menerapkan metode eksperimen virtual menggunakan PhET, skor rata-rata kemampuan numerasi siswa meningkat menjadi **13,14**, dengan **69,4% siswa** mencapai kategori baik. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penggunaan simulasi interaktif membantu siswa memahami

konsep abstrak seperti gaya, percepatan, dan hubungan antar variabel dalam dinamika gerak. Wieman et al. (2010) menekankan bahwa simulasi PhET memberikan visualisasi yang konkret sehingga siswa dapat mempelajari konsep ilmiah secara mendalam.

Namun, masih terdapat beberapa kendala pada siklus pertama. Beberapa siswa mengalami kesulitan dalam menggunakan perangkat teknologi dan memahami instruksi simulasi. Hal ini sesuai dengan temuan Purnamasari & Wahyudi (2020), yang menyatakan bahwa literasi teknologi siswa memengaruhi keberhasilan pembelajaran berbasis teknologi. Oleh karena itu, pada refleksi siklus pertama, dilakukan perbaikan berupa panduan penggunaan PhET yang lebih rinci dan bimbingan intensif bagi siswa yang memerlukan.

3) Hasil Siklus 2

Pada siklus kedua, skor rata-rata kemampuan numerasi siswa meningkat signifikan menjadi **17,78**, dengan **86,1% siswa** berada dalam kategori baik. Peningkatan ini mencerminkan efektivitas metode eksperimen virtual dalam mendorong keterlibatan aktif siswa, memperdalam pemahaman konsep, dan meningkatkan kemampuan numerasi secara keseluruhan. Perkins et al. (2012) mencatat bahwa pembelajaran berbasis eksperimen virtual mampu meningkatkan motivasi belajar siswa dan hasil belajar yang lebih baik dibandingkan metode tradisional.

Selain itu, respons siswa terhadap pembelajaran berbasis PhET juga menunjukkan peningkatan positif. Observasi menunjukkan bahwa siswa lebih antusias dan aktif dalam berdiskusi untuk memecahkan masalah numerasi berbasis simulasi. Hal ini mendukung studi oleh Moore et al. (2014), yang menyatakan bahwa eksperimen virtual dapat mendorong keterampilan berpikir kritis dan kolaboratif siswa.

Secara keseluruhan, peningkatan kemampuan numerasi siswa dari pra siklus hingga siklus kedua menunjukkan keberhasilan penelitian ini. Penerapan metode eksperimen virtual berbasis PhET memberikan pengalaman belajar yang inovatif, relevan dengan era digital, dan mampu mengatasi kendala pembelajaran konvensional. Keberhasilan ini juga sejalan dengan penelitian oleh Arikunto (2019), yang menyebutkan bahwa PTK merupakan pendekatan efektif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran melalui siklus tindakan yang terstruktur.

Hasil ini memberikan implikasi praktis bahwa media pembelajaran interaktif seperti PhET dapat menjadi alternatif strategis dalam pembelajaran fisika dan sains. Penerapan metode ini juga mendukung pengembangan kemampuan abad ke-21, termasuk numerasi, berpikir kritis, dan pemecahan masalah.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode eksperimen virtual menggunakan *PhET Interactive Simulations* secara signifikan meningkatkan kemampuan numerasi siswa kelas XI SMAN 83 Jakarta pada pokok bahasan *Dinamika Gerak*. Hal ini tercermin dari peningkatan skor rata-rata kemampuan numerasi siswa dari **8,02** pada tahap pra siklus menjadi **13,14** pada siklus pertama, dan meningkat lagi menjadi **17,78** pada siklus kedua. Persentase siswa yang mencapai kategori baik juga meningkat dari **36,1%** pada pra siklus menjadi **69,4%** pada siklus pertama, dan akhirnya mencapai **86,1%** pada siklus kedua.

Peningkatan ini membuktikan bahwa media interaktif seperti PhET mampu menjembatani kesenjangan antara konsep teoritis dan aplikasinya dalam situasi nyata. Dengan visualisasi yang menarik dan simulasi yang interaktif, siswa dapat memahami hubungan antar variabel dalam dinamika gerak, seperti gaya, percepatan, dan massa, dengan cara yang lebih mudah dipahami. PhET juga memberikan peluang bagi siswa untuk belajar secara mandiri dan melakukan eksplorasi tanpa rasa takut untuk salah, sehingga meningkatkan rasa percaya diri dan motivasi belajar mereka.



Keberhasilan pembelajaran ini tidak terlepas dari perbaikan dan refleksi yang dilakukan selama proses penelitian. Pada siklus pertama, kendala utama adalah kurangnya literasi teknologi siswa dan kesulitan dalam menggunakan platform PhET. Namun, melalui pendampingan yang lebih intensif dan penyediaan panduan yang lebih jelas pada siklus kedua, kendala ini berhasil diatasi. Pendekatan berbasis PTK memungkinkan guru untuk terus menyempurnakan metode pembelajaran berdasarkan kebutuhan siswa secara langsung, sesuai dengan prinsip pembelajaran aktif (Arikunto, 2019).

Selain itu, penelitian ini menegaskan pentingnya integrasi teknologi dalam pembelajaran untuk mengembangkan keterampilan abad ke-21, termasuk kemampuan numerasi, berpikir kritis, dan pemecahan masalah. Dengan menggunakan simulasi PhET, siswa tidak hanya belajar memahami materi, tetapi juga terlibat dalam kegiatan yang menantang kemampuan analisis mereka. Hal ini mendukung temuan Perkins et al. (2012), yang menyatakan bahwa metode pembelajaran berbasis eksperimen virtual mampu meningkatkan pemahaman konseptual dan keterlibatan siswa dalam pembelajaran.

Penelitian ini juga memberikan implikasi bagi guru dan pemangku kebijakan pendidikan. Guru perlu lebih aktif memanfaatkan teknologi dalam pembelajaran untuk menciptakan pengalaman belajar yang inovatif dan relevan dengan kebutuhan siswa di era digital. Bagi sekolah dan pemerintah, penyediaan fasilitas pendukung seperti perangkat komputer dan akses internet yang memadai menjadi kebutuhan mendesak agar penerapan teknologi pembelajaran dapat berjalan optimal. Dengan pendekatan yang terintegrasi, upaya peningkatan kualitas pendidikan di Indonesia dapat tercapai secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, W. K., Paulson, A., & Perkins, K. K. (2008). Student learning using PhET simulations. *Physics Education Research Conference Proceedings*.
- Arikunto, S. (2015). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Brookhart, S. M. (2013). *How to Create and Use Rubrics for Formative Assessment and Grading*. ASCD.
- Finkelstein, N. D., Perkins, K. K., Adams, W. K., et al. (2005). When learning about the real world is better done virtually. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*.
- Goos, M., Geiger, V., & Dole, S. (2019). *Numeracy across the curriculum*. Springer.
- Hidayat, R., & Nur, M. (2019). Analisis faktor rendahnya literasi numerasi siswa. *Jurnal Pendidikan Matematika*.
- Herga, N. R., & Dinevski, D. (2015). Virtual laboratory experiments in science education. *Educational Technology & Society*.
- Kemendikbud. (2021). *Laporan hasil evaluasi pendidikan*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Kemmis, S., & McTaggart, R. (1988). *The Action Research Planner*. Deakin University Press.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook*. Sage Publications.
- Moore, E. B., Herzog, T., & Perkins, K. K. (2014). Interactive simulations as tools to build conceptual understanding. *Journal of Science Education and Technology*, 22(2), 267-283.
- OECD. (2019). *PISA 2018 Results*. Paris: OECD Publishing.
- Purnamasari, D., & Wahyudi, W. (2020). Pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran matematika. *Jurnal Pendidikan Matematika*
- Perkins, K. K., et al. (2012). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. *The Physics Teacher*.



Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*.

Sari, N., et al. (2020). Penggunaan PhET untuk meningkatkan hasil belajar fisika siswa. *Jurnal Pendidikan Fisika*.

Susanti, T., et al. (2020). Faktor yang memengaruhi kemampuan numerasi siswa. *Jurnal Pendidikan Nasional*.

Suyitno, A. (2018). Analisis faktor penyebab rendahnya hasil belajar matematika siswa. *Jurnal Edukasi*, 10(1), 45-55.

Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st Century Skills: Learning for Life in Our Times*. Jossey-Bass.

Wieman, C. E., Adams, W. K., & Perkins, K. K. (2010). PhET simulations: Transforming education. *Physics Today*, 62(11), 36-41.