



Profiling Students' Conceptual Understanding and Misconceptions in Sound Waves through PhET Sound Waves Simulation-Based Worksheets

Afrizal^{1*}, Lina Aviyanti², Ratih Sirnawati³, Alfiansah Sandion Prakoso⁴

¹²³⁴ Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudhi No. 229, Bandung 40154, Jawa Barat,

Email: afrizalp07@gmail.com

DOI:

<https://doi.org/10.52434/jpif.v6i1.43944>

Accepted: June 2, 2026 Approved: June 20, 2026 Published: June 30, 2026

ABSTRACT

This study aimed to profile students' conceptual understanding and identify misconceptions on sound waves through PhET Sound Waves simulation-based worksheets (LKPD). A quantitative descriptive method was employed involving 36 eleventh-grade students divided into nine groups. Data were collected from students' worksheet responses and analyzed using four conceptual understanding indicators adapted from Anderson and Krathwohl: explaining, interpreting, applying, and connecting. The results showed that the applying indicator achieved the highest performance (100%), followed by interpreting (88.9%), connecting (66.7%), and explaining (44.4%). The findings revealed that students demonstrated strong procedural and interpretative abilities but experienced difficulties in explaining underlying physical concepts. The most common misconception was the belief that the speed of sound depends on frequency. This misconception was associated with inaccuracies in measuring wavelength using the virtual simulation, which led students to misinterpret fluctuations in calculated sound speed. These findings indicate that PhET-based worksheets effectively support conceptual interpretation and mathematical application; however, teacher guidance during reflection remains necessary to prevent misconceptions and strengthen conceptual understanding.

Keywords: *conceptual understanding, misconceptions, sound waves, worksheets, PhET Sound Waves.*

Profil Pemahaman Konsep dan Miskonsepsi Peserta Didik pada Materi Gelombang Bunyi melalui LKPD Berbasis Simulasi *PhET Sound Waves*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengungkap profil pemahaman konsep dan mengidentifikasi miskonsepsi peserta didik pada materi gelombang bunyi melalui penggunaan LKPD berbasis simulasi *PhET Sound Waves*. Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan melibatkan 36 peserta didik kelas XI yang dibagi ke dalam sembilan kelompok. Data diperoleh dari hasil pengerjaan LKPD dan dianalisis menggunakan empat indikator pemahaman konsep

Anderson dan Krathwohl, yaitu menjelaskan, menafsirkan, menerapkan, dan menghubungkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indikator menerapkan memperoleh capaian tertinggi (100%), diikuti menafsirkan (88.9%), menghubungkan (66.7%), dan menjelaskan (44.4%). Temuan menunjukkan bahwa peserta didik memiliki kemampuan prosedural dan interpretatif yang baik, tetapi masih mengalami kesulitan dalam menjelaskan konsep fisika secara mendalam. Miskonsepsi yang paling banyak ditemukan adalah anggapan bahwa cepat rambat bunyi dipengaruhi oleh frekuensi. Miskonsepsi ini berkaitan dengan ketidaktelitian peserta didik dalam mengukur panjang gelombang pada simulasi sehingga menimbulkan kesalahan interpretasi terhadap hasil perhitungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LKPD berbasis PhET efektif mendukung interpretasi konsep dan penerapan matematis, tetapi tetap memerlukan pendampingan guru pada tahap refleksi untuk memperkuat pemahaman konseptual dan meminimalkan miskonsepsi.

Kata kunci: pemahaman konsep, miskonsepsi, gelombang bunyi, LKPD, *PhET Sound Waves*.

PENDAHULUAN

Fisika merupakan salah satu mata pelajaran yang menuntut kemampuan visualisasi dan pemahaman konsep abstrak. Gelombang bunyi merupakan salah satu materi fisika yang sering menimbulkan kesulitan konseptual karena melibatkan fenomena yang tidak dapat diamati secara langsung dan memerlukan pemahaman hubungan antara frekuensi, amplitudo, panjang gelombang, serta cepat rambat bunyi. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa konsep gelombang bunyi masih menjadi sumber miskonsepsi bagi peserta didik pada berbagai jenjang pendidikan (Lizelwati et al., 2025). Tantangan ini sering kali muncul dalam pembelajaran di dalam kelas, di mana keterbatasan sarana laboratorium fisik dan alat peraga konvensional menjadi kendala utama dalam mendorong eksplorasi eksperimental siswa (Wieman et al., 2008).

Pemahaman konsep merupakan kemampuan peserta didik untuk menjelaskan, menafsirkan, menghubungkan, serta menerapkan suatu konsep pada situasi yang berbeda. Menurut Anderson dan Krathwohl (2001), pemahaman konsep dapat ditunjukkan melalui kemampuan menafsirkan, menjelaskan, mengklasifikasikan, menyimpulkan, dan menerapkan konsep yang telah dipelajari. Kemampuan ini sangat penting karena menjadi dasar bagi peserta didik untuk membangun pengetahuan yang lebih kompleks pada jenjang pembelajaran berikutnya.

Simulasi *PhET* (*Physics Education Technology*) yang dikembangkan oleh Universitas Colorado Boulder telah terbukti secara empiris meningkatkan pemahaman konsep fisika siswa melalui representasi visual yang interaktif dan mudah dimanipulasi (Adams et al., 2008). Simulasi PhET menyediakan lingkungan belajar interaktif yang memungkinkan peserta didik melakukan eksplorasi konsep melalui manipulasi variabel dan representasi visual. Karakteristik tersebut membantu peserta didik memahami konsep-konsep abstrak serta meningkatkan keterlibatan dalam proses pembelajaran (Putri et al., 2024).

LKPD terstruktur membantu mengarahkan eksplorasi siswa pada simulasi sehingga tetap sesuai dengan tujuan pembelajaran. Tanpa panduan yang sistematis, eksplorasi cenderung tidak terarah dan kurang efektif dalam membangun pemahaman konseptual (Wieman et al., 2008; Smetana & Bell, 2012). Oleh karena itu, integrasi LKPD berbasis simulasi PhET dalam pembelajaran tatap muka dipandang sebagai solusi inovatif untuk menjembatani keterbatasan eksperimen fisik secara langsung, sekaligus meningkatkan kualitas pemahaman konseptual siswa.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa LKPD berbasis simulasi PhET mampu meningkatkan hasil belajar dan pemahaman konsep peserta didik pada berbagai materi fisika. Cahyani et al. (2025) melaporkan bahwa LKPD berbantuan PhET pada materi gelombang bunyi dinyatakan valid dan praktis digunakan dalam pembelajaran. Rahmani et al. (2025) menemukan bahwa integrasi simulasi PhET ke dalam LKPD mampu meningkatkan pemahaman konsep peserta didik secara signifikan. Meskipun demikian, penelitian-penelitian terdahulu lebih banyak berfokus pada hasil belajar secara umum dan uji kevalidan instrumen. Belum banyak studi yang secara spesifik membedah dan memprofilkan miskonsepsi siswa pada indikator kognitif tertentu (seperti taksonomi Anderson dan Krathwohl) ketika mengonstruksi pemahaman gelombang bunyi.

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan tingkat pemahaman konsep peserta didik pada materi gelombang bunyi setelah menggunakan LKPD berbasis simulasi *PhET Sound Waves* serta mengidentifikasi konsep-konsep yang telah dipahami maupun yang masih mengalami miskonsepsi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang meliputi persiapan, pelaksanaan pembelajaran menggunakan LKPD berbasis simulasi *PhET Sound Waves*, pengumpulan data, serta analisis pemahaman konsep dan miskonsepsi peserta didik. Alur penelitian secara lengkap disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Prosedur Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, penelitian diawali dengan penyusunan dan validasi LKPD berbasis simulasi PhET Sound Waves. Selanjutnya, LKPD diimplementasikan dalam kegiatan pembelajaran untuk memfasilitasi eksplorasi konsep gelombang bunyi. Data penelitian diperoleh dari hasil pengerjaan LKPD oleh peserta didik yang kemudian dianalisis berdasarkan indikator pemahaman konsep meliputi explaining, interpreting, applying, dan connecting. Selain itu, jawaban peserta didik juga dianalisis untuk mengidentifikasi miskonsepsi yang muncul pada materi gelombang bunyi.

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif (Creswell & Creswell, 2023; Sugiyono, 2022) untuk menganalisis tingkat pemahaman konsep peserta didik pada materi gelombang bunyi setelah mengikuti pembelajaran menggunakan Lembar Kerja Peserta Didik

(LKPD) berbasis simulasi *PhET Sound Waves*. Pemilihan metode ini disesuaikan dengan tujuan penelitian yang berfokus pada pemetaan kategori pemahaman berdasarkan persentase capaian secara kuantitatif. Penelitian dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2025/2026 di salah satu SMA Negeri di Kota Bandung.

Subjek penelitian terdiri atas 36 peserta didik kelas XI yang dibagi ke dalam 9 kelompok belajar, dengan masing-masing kelompok beranggotakan 3-4 siswa. Partisipan dipilih menggunakan teknik *purposive sampling*. Pemilihan sampel didasarkan pada pertimbangan bahwa peserta didik telah mempelajari materi dasar mekanika gelombang, namun belum pernah menggunakan simulasi *PhET Sound Waves* dalam kegiatan pembelajaran sebelumnya.

Instrumen penelitian yang digunakan terdiri atas LKPD berbasis simulasi *PhET Sound Waves* dan lembar penilaian pemahaman konsep. LKPD ini dikembangkan melalui proses adaptasi dan modifikasi dari *teacher-contributed activity* yang tersedia di portal resmi PhET. Sebelum diimplementasikan pada pembelajaran tatap muka di kelas, rancangan LKPD ini telah ditelaah kesesuaian konten teoretis dan bahasanya bersama guru pengampu mata pelajaran fisika di sekolah. Secara operasional, LKPD dirancang secara terstruktur untuk memfasilitasi kegiatan saintifik yang mencakup prediksi, observasi, pengumpulan data, analisis, hingga penarikan kesimpulan. Sementara itu, lembar penilaian disusun berdasarkan empat indikator pemahaman konsep menurut taksonomi Anderson dan Krathwohl, yaitu: *explaining*, *interpreting*, *applying*, dan *connecting concepts*.

Kegiatan pembelajaran dilaksanakan secara terstruktur melalui tiga tahapan utama. Pertama, pada tahap orientasi dan prediksi, peserta didik diberikan permasalahan awal dan diminta memberikan hipotesis atau prediksi mengenai hubungan antara frekuensi, amplitudo, panjang gelombang, dan cepat rambat bunyi. Selanjutnya, pada tahap eksplorasi, peserta didik berinteraksi langsung dengan simulasi *PhET Sound Waves*. Pada tahap ini, mereka melakukan pengamatan interaktif terhadap perubahan karakteristik gelombang bunyi dengan memanipulasi variabel frekuensi dan amplitudo, serta mengukur panjang gelombang menggunakan alat ukur virtual yang tersedia pada sistem. Terakhir, pada tahap analisis dan refleksi, peserta didik mendiskusikan temuan eksperimen virtual mereka untuk menjawab pertanyaan konseptual dan studi kasus yang terdapat pada LKPD. Data penelitian diperoleh melalui hasil pengerjaan LKPD peserta didik, kemudian analisis dilakukan berdasarkan empat indikator pemahaman konsep yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rubrik penilaian LKPD gelombang bunyi berbasis PhET

Indikator	Deskripsi
Menjelaskan	Kemampuan menjelaskan hubungan antara frekuensi, panjang gelombang, amplitudo, dan cepat rambat bunyi
Menafsirkan	Kemampuan menginterpretasikan hasil pengamatan pada simulasi PhET
Menerapkan	Kemampuan menggunakan persamaan gelombang bunyi untuk menyelesaikan permasalahan
Menghubungkan	Kemampuan mengaitkan konsep gelombang bunyi dengan fenomena kehidupan sehari-hari

Skor setiap indikator dihitung menggunakan persamaan:

$$P = \left(\frac{f}{N} \right) \times 100\% \quad \dots(1)$$

Dengan P adalah persentasi ketercapaian indikator, f adalah jumlah kelompok yang memenuhi indikator, dan N adalah jumlah seluruh kelompok.

Kategori tingkat pemahaman konsep peserta didik ditentukan berdasarkan kriteria pada tabel 2.

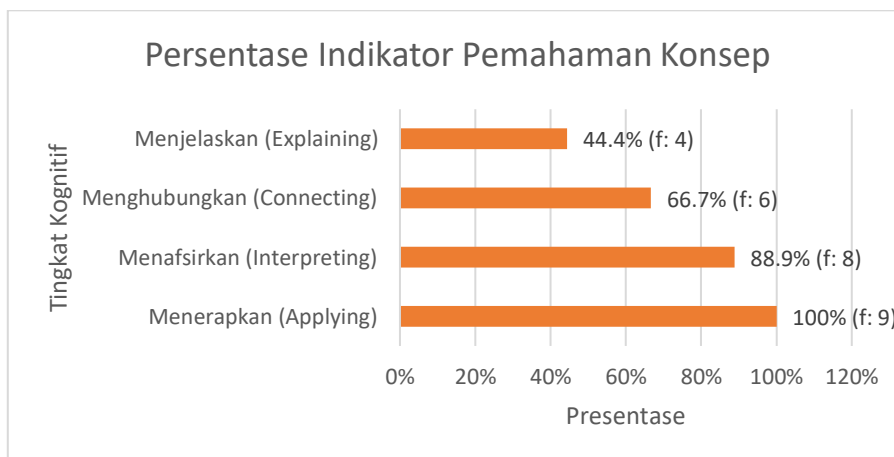
Tabel 2. Indikator Pemahaman Konsep

Persentase	Kategori
81-100%	Sangat Baik
61-80 %	Baik
41-60 %	Cukup
21-40 %	Kurang
0-20%	Sangat Kurang

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berdasarkan analisis lembar kerja peserta didik (LKPD) dari 9 kelompok ($N = 9$) yang berpartisipasi dalam pembelajaran gelombang bunyi menggunakan simulasi PhET, ketercapaian pemahaman konsep diukur menggunakan empat indikator kognitif. Skor persentase ketercapaian (P) dihitung menggunakan persamaan $P = \frac{f}{N} \times 100\%$, dengan f sebagai frekuensi kelompok yang memenuhi kriteria. Gambar berikut menyajikan data presentase tingkat pemahaman konsep peserta didik:



Gambar 2. Data Persentase Indikator Pemahaman Konsep

Selain menunjukkan tingkat ketercapaian pemahaman konsep, analisis jawaban LKPD juga mengidentifikasi beberapa miskonsepsi yang masih dimiliki peserta didik pada materi gelombang bunyi. Miskonsepsi tersebut terutama ditemukan pada indikator *explaining* dan *connecting*.

Tabel 3. Miskonsepsi yang Ditemukan pada Jawaban Peserta Didik

Konsep	Bentuk Miskonsepsi	Kelompok
Cepat rambat bunyi	Cepat rambat bunyi berubah ketika frekuensi diubah	1, 3, 6
Frekuensi dan amplitudo	Frekuensi dianggap menentukan keras bunyi	7
Pengukuran gelombang	Perubahan amplitudo dianggap memengaruhi kecepatan gelombang	5
Teknologi USG	Menjelaskan penggunaan USG tanpa mengaitkan dengan panjang gelombang	1, 9

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peserta didik lebih mudah menggunakan hubungan matematis antarvariabel gelombang bunyi dibandingkan menjelaskan makna fisis yang mendasari hubungan tersebut. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pemahaman prosedural peserta didik berkembang lebih baik daripada pemahaman konseptualnya. Meskipun peserta didik mampu menggunakan persamaan gelombang bunyi untuk menyelesaikan permasalahan yang diberikan, sebagian masih mengalami kesulitan dalam menjelaskan mengapa hubungan tersebut terjadi secara fisis. Menurut Anderson dan Krathwohl (2001), kemampuan menjelaskan (*explaining*) merupakan bentuk pemahaman konseptual tingkat tinggi karena menuntut peserta didik membangun hubungan sebab-akibat antar konsep, bukan sekadar menggunakan rumus untuk memperoleh jawaban.

Miskonsepsi yang muncul pada konsep cepat rambat bunyi menunjukkan bahwa sebagian peserta didik masih menganggap frekuensi sebagai faktor yang menentukan cepat rambat bunyi. Pemahaman ini kemungkinan muncul karena peserta didik mengamati adanya perubahan nilai hasil perhitungan selama kegiatan eksplorasi menggunakan simulasi. Ketidaktepatan pengukuran panjang gelombang menggunakan penggaris virtual dapat menghasilkan variasi nilai cepat rambat yang kemudian ditafsirkan sebagai perubahan sifat fisis gelombang bunyi. Akibatnya, peserta didik lebih mempercayai data hasil pengamatan dibandingkan prinsip fisis bahwa cepat rambat bunyi pada medium yang sama bersifat konstan. Temuan ini menunjukkan bahwa visualisasi dan eksperimen virtual saja belum selalu mampu menghilangkan miskonsepsi apabila tidak diikuti dengan proses refleksi konseptual yang memadai.

Di sisi lain, kemampuan peserta didik dalam menafsirkan fenomena gelombang bunyi berkembang dengan baik. Kondisi ini diduga dipengaruhi oleh karakteristik simulasi PhET yang

mampu menyajikan representasi visual secara dinamis. Melalui visualisasi hubungan antara frekuensi, amplitudo, dan panjang gelombang, peserta didik dapat mengamati perubahan karakteristik gelombang secara langsung sehingga lebih mudah membangun interpretasi terhadap fenomena yang diamati. Hasil ini sejalan dengan Banda dan Nzabahimana (2021) yang menyimpulkan bahwa integrasi simulasi PhET dapat meningkatkan pemahaman konseptual fisika karena mampu menghubungkan representasi visual, matematis, dan konseptual secara simultan. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Smetana dan Bell (2012) yang menyatakan bahwa simulasi komputer efektif membantu peserta didik memahami konsep-konsep sains yang bersifat abstrak melalui visualisasi interaktif.

Kemampuan peserta didik dalam menerapkan konsep juga menunjukkan hasil yang baik. Tingginya kemampuan ini mengindikasikan bahwa simulasi PhET dan LKPD berhasil membantu peserta didik mengidentifikasi hubungan matematis antarvariabel serta menggunakan persamaan yang sesuai untuk menyelesaikan masalah. Lingkungan belajar yang memungkinkan peserta didik memanipulasi variabel secara langsung membantu mereka mengenali pola hubungan antara frekuensi, panjang gelombang, dan cepat rambat bunyi. Hasil ini mendukung temuan Maryani et al. (2025) yang menyatakan bahwa penggunaan simulasi virtual dapat meningkatkan kemampuan peserta didik dalam menerapkan konsep dan menyelesaikan permasalahan fisika. Namun demikian, tingginya kemampuan menerapkan konsep yang tidak diikuti oleh kemampuan menjelaskan konsep menunjukkan bahwa keberhasilan dalam penggunaan rumus belum tentu mencerminkan pemahaman konseptual yang mendalam.

Kemampuan menghubungkan konsep gelombang bunyi dengan teknologi ultrasonografi menunjukkan bahwa sebagian peserta didik telah mampu melakukan transfer pengetahuan ke konteks yang berbeda. Kemampuan transfer konsep merupakan salah satu indikator penting pembelajaran bermakna karena menunjukkan bahwa pengetahuan tidak hanya tersimpan sebagai informasi faktual, tetapi dapat digunakan untuk menjelaskan fenomena nyata. Kemampuan ini kemungkinan didukung oleh penggunaan konteks kehidupan sehari-hari dalam LKPD yang membantu peserta didik mengaitkan konsep gelombang bunyi dengan aplikasi teknologi yang familiar. Temuan ini sejalan dengan Agustina et al. (2025) yang melaporkan bahwa penggunaan simulasi PhET dapat membantu peserta didik menghubungkan konsep abstrak dengan fenomena nyata melalui proses visualisasi yang lebih konkret.

Miskonsepsi lain yang ditemukan berkaitan dengan hubungan antara frekuensi dan keras bunyi. Sebagian peserta didik menganggap bahwa peningkatan frekuensi menyebabkan bunyi menjadi lebih keras. Temuan ini menunjukkan adanya kebingungan dalam membedakan peran frekuensi dan amplitudo pada gelombang bunyi. Frekuensi berkaitan dengan tinggi-rendahnya nada (*pitch*), sedangkan amplitudo berkaitan dengan keras-lemahnya bunyi (*loudness*). Kesalahan ini menunjukkan bahwa peserta didik masih cenderung menghubungkan seluruh perubahan karakteristik bunyi dengan satu variabel saja. Kondisi tersebut mengindikasikan perlunya aktivitas pembelajaran yang secara eksplisit membandingkan pengaruh frekuensi dan amplitudo sehingga peserta didik dapat membangun representasi konsep yang lebih akurat.

Secara keseluruhan, temuan penelitian menunjukkan bahwa integrasi LKPD berbasis simulasi PhET memberikan kontribusi positif terhadap pengembangan pemahaman konsep gelombang bunyi, terutama pada aspek interpretasi fenomena, penerapan konsep, dan transfer pengetahuan ke konteks nyata. Namun demikian, masih ditemukannya miskonsepsi pada konsep

cepat rambat bunyi serta hubungan frekuensi dan keras bunyi menunjukkan bahwa visualisasi interaktif belum sepenuhnya menjamin terbentuknya pemahaman konseptual yang benar. Oleh karena itu, penggunaan simulasi perlu disertai dengan diskusi reflektif, penguatan konseptual, dan bimbingan guru yang membantu peserta didik menghubungkan hasil observasi dengan prinsip fisika yang mendasarinya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan LKPD berbasis simulasi *PhET Sound Waves* mampu memetakan profil pemahaman konsep peserta didik dan mengidentifikasi miskonsepsinya secara komprehensif. Tingkat pemahaman konsep peserta didik menunjukkan keunggulan pada aspek prosedural dan visual, dengan indikator *applying* mencapai 100% (sangat baik), *interpreting* 88.9% (sangat baik), dan *connecting* 66.7% (baik). Namun, indikator *explaining* memperoleh persentase terendah sebesar 44.4% (cukup). Rendahnya kemampuan menjelaskan ini berkaitan erat dengan identifikasi miskonsepsi utama, di mana peserta didik keliru menyimpulkan bahwa cepat rambat bunyi dipengaruhi oleh frekuensi. Miskonsepsi ini dipicu oleh fluktuasi perhitungan matematis akibat bias ketidakteknelitian (*human error*) saat menggunakan alat ukur panjang gelombang virtual.

Temuan ini memberikan implikasi bahwa implementasi eksperimen virtual menggunakan PhET pada kelas tatap muka tetap berpotensi memunculkan miskonsepsi baru jika peserta didik dibiarkan berinteraksi secara mandiri tanpa tindak lanjut. Oleh karena itu, direkomendasikan adanya intervensi pedagogis berupa refleksi mendalam dan diskusi kelas di akhir sesi. Hal ini sangat krusial untuk menjembatani kesenjangan antara ketidakakuratan data empiris hasil pengukuran virtual dengan postulat fisika murni yang mendasarinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada kepala sekolah, guru fisika, serta peserta didik kelas XI yang telah berpartisipasi dan membantu kelancaran proses pengambilan data penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan dalam penyusunan penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan pembelajaran fisika, khususnya pada materi gelombang bunyi.

REFERENSI

- Adams, W. K., Reid, S., LeMaster, R., McKagan, S., Perkins, K., Dubson, M., & Wieman, C. E. (2008). A study of educational simulations part II: Interface design. *Journal of Interactive Learning Research*, 19(4), 551–577. <https://www.learntechlib.org/primary/p/24364/>
- Agustina, I., Wiyono, K., Marlina, L., & Abdul Rahman, N. F. (2025). Pengaruh simulasi PhET terhadap pemahaman siswa mengenai konsep gelombang bunyi di sekolah menengah. *Institut Pendidikan Tapanuli Selatan*, 13(1). <https://journal.ipts.ac.id/index.php/ED/article/view/6631/3475>

- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Banda, H. J., & Nzabahimana, J. (2021). Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 023108. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023108>
- Cahyani, A. N., Simbolon, M., & Algiranto. (2025). The development of LKPD (student worksheet) assisted by PhET simulation on sound wave material. *International Journal of Applied Educational Research (IJAER)*, 2(6). <https://journal.multitechpublisher.com/index.php/ijaer/article/view/3119>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6th ed.). SAGE Publications.
- Lizelwati, N., Halim, A. D. B., & Mustapa, I. R. (2025). Development of conceptual change instruments to measure students' understanding of vibrations, waves, and sounds at universities. *EduFisika: Jurnal Pendidikan Fisika*, 10(2), 235–248. <https://doi.org/10.59052/edufisika.v10i2.46654>
- Maryani, I., Supratman, Mursida, A., & Nadya, A. (2025). The effectiveness of the guided discovery learning model assisted by PhET virtual laboratory simulations on students' physics learning outcomes. *Indonesian Journal of Educational Innovation*, 1(2), 7–12. <https://journals.widhatulfaeha.id/index.php/jpkjl/article/view/54>
- Oktaviana, S., & Putranta, H. (2024). Identification of students' conceptual understanding of sound wave materials through the contextual teaching and learning (CTL) model. *Research and Education*, 10, 124–145. <https://doi.org/10.56177/red.10.2024.art.7>
- Putri, N., Yektyastuti, R., & Safari, Y. (2024). Implementation of Physics Education Technology (PhET) media on student's science concept understanding: A literature review. *Educational Researcher Journal*, 1(1), 10–18. <https://doi.org/10.71288/educationalresearcherjournal.v1i1.3>
- Rahmani, A. I., Munandar, A., Nurhikmah, & Sundari, D. T. (2025). Integration of PhET simulation technology in LKPD: An innovative solution to improve students' understanding of physics concepts. *JPF (Jurnal Pendidikan Fisika) Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar*, 13(1), 27–37. <https://doi.org/10.24252/jpf.v13i1.53679>
- Rehn, D. A., Moore, E. B., Podolefsky, N. S., & Finkelstein, N. D. (2013). Tools for high-tech tool use: A framework and heuristics for using interactive simulations. *Journal of Teaching and Learning with Technology*, 2(1), 31–55. <https://scholarworks.iu.edu/journals/index.php/jotlt/article/view/3507>
- Smetana, L. K., & Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337–1370. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182>

- Sugiyono. (2022). *Metode penelitian pendidikan (kuantitatif, kualitatif, kombinasi, R&D dan penelitian pendidikan)* (Cetakan ke-4). Alfabeta.
- Wieman, C., Adams, W. K., & Perkins, K. K. (2008). PhET: Simulations that enhance learning. *Science*, 322(5902), 682–683. <https://doi.org/10.1126/science.1161948>
- .