

Pengembangan Alat Praktikum *WaveTimer* (Mechanical Wave Generator with Ticker Timer) untuk Meningkatkan Hasil Belajar Peserta Didik pada Materi Gelombang Mekanik

Nadiya Ayuni Salma¹, dan Imam Sucahyo²

^{1,2} Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

* Email: nadiyaayuni.22026@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Pembelajaran gelombang mekanik di sekolah masih menghadapi kendala berupa keterbatasan alat praktikum yang mampu memvisualisasikan pembentukan gelombang stasioner secara akurat, sehingga pemahaman konsep dan hasil belajar peserta didik belum optimal. Penelitian ini bertujuan menghasilkan alat praktikum *WaveTimer* (Mechanical Wave Generator with Ticker Timer) pada materi gelombang mekanik serta mengkaji kelayakannya dalam meningkatkan hasil belajar peserta didik pada ranah kognitif. Penelitian menggunakan pendekatan *Research and Development (R&D)* dengan model ADDIE yang meliputi tahapan *Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*. Tahap analisis mencakup identifikasi kebutuhan pembelajaran, kajian kurikulum, analisis materi, karakteristik peserta didik, serta observasi dan wawancara dengan guru fisika. Tahap perancangan meliputi penyusunan desain *WaveTimer*, perangkat pembelajaran, dan instrumen penelitian. Tahap pengembangan mencakup pembuatan alat, pengujian kinerja berdasarkan Hukum Melde, validasi oleh ahli media dan ahli materi, serta penyempurnaan produk. Implementasi dilakukan pada 28 peserta didik kelas XI MAN 1 Nganjuk melalui pembelajaran berbasis inkuiri terbimbing, sedangkan evaluasi dilaksanakan secara berkelanjutan pada setiap tahap pengembangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *WaveTimer* memiliki validitas media sebesar 95% dan validitas materi sebesar 90%, sedangkan perangkat pembelajaran dan instrumen memperoleh kategori sangat valid dengan persentase 81%-94%. Alat juga dinilai sangat praktis berdasarkan respons positif peserta didik serta keterlaksanaan pembelajaran yang sangat baik. Dari aspek keefektifan, rata-rata nilai meningkat dari 41,25 menjadi 83,21, didukung hasil *Wilcoxon Signed Rank Test* yang menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,05$) dan nilai *N-Gain* sebesar 0,702 (kategori tinggi). Dengan demikian, *WaveTimer* dinyatakan valid, praktis, dan efektif serta berimplikasi sebagai alternatif alat praktikum yang mendukung pembelajaran gelombang mekanik, memfasilitasi pembelajaran berbasis inkuiri, dan meningkatkan hasil belajar peserta didik.

Kata kunci: alat praktikum; gelombang mekanik; hasil belajar; model ADDIE

Development of the WaveTimer Laboratory Apparatus (Mechanical Wave Generator with Ticker Timer) to Improve Student Learning Outcomes in Mechanical Waves

Abstract

Mechanical wave learning in schools is still constrained by the limited availability of laboratory equipment capable of accurately visualizing stationary wave formation, resulting in suboptimal conceptual understanding and student learning outcomes. This study aimed to develop the *WaveTimer* (Mechanical Wave Generator with Ticker Timer) laboratory apparatus for mechanical wave instruction and to evaluate its feasibility in improving students' cognitive learning outcomes. The study employed a *Research and Development (R&D)* approach using the ADDIE model, consisting of the *Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation* phases. The analysis phase included learning needs identification, curriculum review, material analysis, student characteristics analysis, as well as classroom observations and interviews with physics teachers. The design phase involved developing the *WaveTimer* design, learning materials, and research instruments. The development phase included constructing the

apparatus, testing its performance based on Melde's Law, validating the product through media and subject-matter experts, and revising the product accordingly. The implementation phase was conducted with 28 eleventh-grade students at MAN 1 Nganjuk using a guided inquiry learning approach, while evaluation was carried out continuously throughout each stage of development. The results indicated that WaveTimer achieved a media validity score of 95% and a material validity score of 90%, while the learning materials and research instruments were categorized as highly valid, with validity percentages ranging from 81% to 94%. The apparatus was also considered highly practical based on positive student responses and excellent learning implementation. In terms of effectiveness, the mean student score increased from 41.25 on the pretest to 83.21 on the posttest, supported by the Wilcoxon Signed-Rank Test, which showed a significant difference ($p < 0.05$), and an N-Gain score of 0.702, categorized as high. Therefore, WaveTimer was found to be valid, practical, and effective, and has the potential to serve as an alternative laboratory apparatus for supporting mechanical wave instruction, facilitating guided inquiry-based learning, and improving students' learning outcomes.

Keywords: ADDIE model; laboratory apparatus; learning outcomes; mechanical waves

Histori Naskah

Diserahkan: 22 Juli 2026

Direvisi: 27 Juli 2026

Diterima: 1 Agustus 2026

How to cite:

Salma, N., A, dan Sucahyo, I. (2026). Pengembangan Alat Praktikum *WaveTimer (Mechanical Wave Generator with Ticker Timer)* untuk Meningkatkan Hasil Belajar Peserta Didik pada Materi Gelombang Mekanik. *Inovasi Pendidikan Fisika*, 15 (1), 24–36. DOI: <https://doi.org/xx.xxxx/ipf.v15i1.xxxx>

PENDAHULUAN

Perkembangan pendidikan pada abad ke-21 menuntut proses pembelajaran yang tidak hanya berorientasi pada penguasaan materi, tetapi juga pada pengembangan kemampuan hasil belajar, berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, serta literasi sains. Sejalan dengan tujuan Sustainable Development Goals (SDGs) poin keempat, pendidikan diharapkan mampu menghasilkan sumber daya manusia yang memiliki kompetensi sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (Triansyah *et al.*, 2025). Dalam pembelajaran fisika, tujuan tersebut diwujudkan melalui proses belajar yang membantu peserta didik membangun pemahaman konsep secara bermakna sehingga berdampak pada peningkatan hasil belajar, khususnya pada ranah pengetahuan (Ervinatus Tri Wulansari *et al.*, 2024)). Penerapan Kurikulum Merdeka turut memperkuat pendekatan tersebut dengan menempatkan peserta didik sebagai pusat pembelajaran melalui aktivitas eksplorasi, penyelidikan, dan eksperimen. Oleh karena itu, diperlukan sarana pembelajaran yang mampu memfasilitasi pengalaman belajar secara langsung agar konsep-konsep fisika lebih mudah dipahami.

Praktikum merupakan salah satu kegiatan yang memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk memperoleh pengalaman nyata dalam mempelajari fenomena fisika. Melalui kegiatan tersebut, peserta didik dapat melakukan pengamatan, mengumpulkan data, menganalisis hasil percobaan, hingga menarik kesimpulan berdasarkan bukti yang diperoleh. Pengalaman belajar seperti ini berperan penting dalam membangun pemahaman konseptual sekaligus meningkatkan keterampilan ilmiah (Khotimah *et al.*, 2023). Selain itu, kegiatan praktikum sangat sesuai diterapkan bersama model pembelajaran inkuiri terbimbing karena peserta didik didorong menemukan konsep melalui proses penyelidikan dengan arahan guru (Jein Reflin Herung *et al.*, 2025). Penelitian Hasnawiyah & Maslena (2024) juga menunjukkan bahwa penggunaan alat praktikum yang sesuai dengan karakteristik materi mampu meningkatkan partisipasi peserta didik, memperkuat pemahaman konsep, serta memberikan dampak positif terhadap hasil belajar. Dengan demikian, keberadaan alat praktikum menjadi salah satu komponen penting dalam pembelajaran fisika.

Salah satu materi fisika yang memerlukan dukungan kegiatan praktikum adalah gelombang mekanik. Materi ini membahas proses perambatan getaran melalui suatu medium dengan konsep-konsep seperti frekuensi, periode, panjang gelombang, cepat rambat, simpul, dan perut gelombang. Sebagian besar konsep tersebut bersifat abstrak sehingga sulit dipahami apabila hanya dijelaskan melalui uraian lisan, gambar,

ataupun persamaan matematis. Kurikulum Merdeka mendorong pembelajaran yang memberikan pengalaman langsung kepada peserta didik sehingga fenomena fisika dapat diamati secara nyata (Widyastuti *et al.*, 2024). Penelitian Akeu Pitriyani *et al.* (2025) juga menunjukkan bahwa penggunaan media maupun alat praktikum pada materi gelombang berkontribusi terhadap peningkatan pemahaman konsep dan hasil belajar karena peserta didik dapat mengamati proses terbentuknya gelombang secara langsung. Oleh sebab itu, diperlukan alat praktikum yang mampu menyajikan visualisasi gelombang secara lebih jelas dan mudah diamati.

Berbagai alat praktikum telah digunakan untuk mempelajari gelombang mekanik, di antaranya slinki, ripple tank, dan alat Melde. Namun demikian, masing-masing masih memiliki keterbatasan. Penggunaan slinki sangat dipengaruhi oleh gerakan tangan sehingga bentuk gelombang yang dihasilkan kurang konsisten. Ripple tank memerlukan persiapan yang cukup lama serta kurang praktis digunakan dalam pembelajaran di kelas. Sementara itu, alat Melde yang tersedia di sekolah umumnya belum mampu menghasilkan visualisasi gelombang stasioner secara optimal sehingga pengamatan karakteristik gelombang masih terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya inovasi alat praktikum yang lebih sederhana, mudah digunakan, serta mampu menghasilkan getaran yang stabil agar proses pengamatan menjadi lebih akurat.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan media maupun alat praktikum pada materi gelombang. Febrianti & Prabowo (2021) mengembangkan media percobaan Hukum Melde berbantuan aplikasi *Physics Toolbox Sensor Suite*, sedangkan Octaviani *et al.* (2021) merancang trainer kit berbasis Arduino UNO dan sensor ultrasonik untuk menentukan cepat rambat gelombang pada berbagai jenis tali. Penelitian lain memanfaatkan simulasi digital PhET yang terbukti efektif dalam meningkatkan hasil belajar peserta didik (Hikmawati *et al.*, 2023; Jamila *et al.*, 2023; Ningsih *et al.*, 2023). Putri *et al.* (2020) juga mengembangkan ripple tank sebagai media visualisasi sifat-sifat gelombang, sedangkan Ariani *et al.* (2023) melaporkan bahwa penggunaan alat praktikum fisik memberikan dampak positif terhadap hasil belajar. Meskipun demikian, penelitian mengenai alat praktikum berbasis Hukum Melde yang memanfaatkan ticker timer sebagai sumber getaran stabil dan dirancang untuk mendukung pembelajaran inkuiri terbimbing masih relatif terbatas. Kondisi tersebut membuka peluang untuk mengembangkan alat praktikum yang lebih sesuai dengan kebutuhan pembelajaran di sekolah.

Hasil observasi serta wawancara dengan guru fisika di MAN 1 Nganjuk menunjukkan bahwa pelaksanaan praktikum pada materi gelombang mekanik belum berjalan secara optimal karena keterbatasan alat yang tersedia. Pembelajaran masih didominasi penjelasan guru disertai penggunaan media sederhana sehingga peserta didik belum memperoleh pengalaman eksperimen secara langsung. Situasi tersebut sejalan dengan temuan Ulfia & Wahyuni (2025) yang menyatakan bahwa keterbatasan media maupun alat praktikum dapat menghambat pemahaman konsep fisika dan berdampak pada rendahnya hasil belajar. Data hasil belajar peserta didik juga menunjukkan bahwa sebagian peserta didik belum mencapai capaian pembelajaran yang diharapkan. Oleh sebab itu, diperlukan alat praktikum yang mampu mendukung pembelajaran berbasis pengalaman sehingga peserta didik dapat memahami konsep gelombang mekanik secara lebih baik.

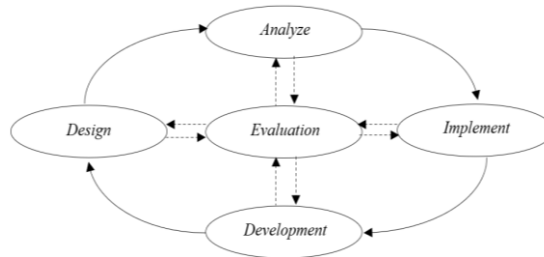
Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan *WaveTimer (Mechanical Wave Generator with Ticker Timer)* sebagai alternatif alat praktikum untuk materi gelombang mekanik. *WaveTimer* memanfaatkan ticker timer sebagai sumber getaran sehingga mampu menghasilkan frekuensi yang lebih stabil dibandingkan getaran manual. Selain digunakan untuk mengamati fenomena gelombang, alat ini dirancang agar peserta didik dapat melakukan penyelidikan, menganalisis hasil pengamatan, serta menarik kesimpulan melalui tahapan pembelajaran inkuiri terbimbing. Pengembangan alat praktikum yang mampu menghadirkan visualisasi konsep secara nyata telah terbukti meningkatkan keterlibatan peserta didik, memperkuat pemahaman konsep, dan meningkatkan hasil belajar (Jakub Saddam Akbar *et al.*, 2025).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menjawab permasalahan mengenai bagaimana tingkat validitas, kepraktisan, dan keefektifan alat praktikum *WaveTimer* dalam pembelajaran gelombang mekanik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan *WaveTimer* menggunakan model pengembangan ADDIE serta memberikan kelayakannya ditinjau dari aspek validitas, kepraktisan, dan keefektifan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan alternatif alat praktikum yang mendukung implementasi pembelajaran fisika berbasis inkuiri terbimbing sekaligus meningkatkan hasil belajar peserta didik pada materi gelombang mekanik.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) untuk mengembangkan alat praktikum *WaveTimer (Mechanical Wave Generator with Ticker Timer)* pada materi gelombang mekanik (Sugiyono, 2017). Proses pengembangan mengacu pada model ADDIE yang terdiri atas lima tahapan, yaitu

Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation (Branch, 2009). Model ini dipilih karena memberikan alur pengembangan yang sistematis serta memungkinkan evaluasi dilakukan secara berkelanjutan pada setiap tahap sehingga produk yang dihasilkan dapat disempurnakan sebelum diterapkan dalam pembelajaran.

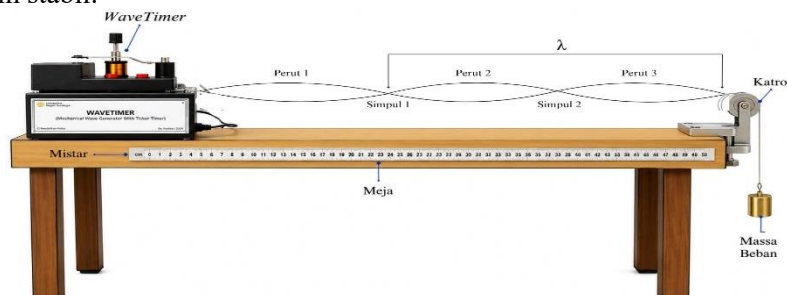


Gambar 1. Tahapan Pengembangan ADDIE
(Sumber: Branch, 2009)

Tahap *analysis* dilakukan melalui analisis kebutuhan pembelajaran, kurikulum, materi gelombang mekanik, karakteristik peserta didik, serta observasi dan wawancara dengan guru fisika di MAN 1 Nganjuk. Hasil analisis tersebut menjadi dasar dalam penyusunan desain *WaveTimer*, perangkat pembelajaran, dan instrumen penelitian pada tahap *design*. Selanjutnya, tahap *development* meliputi pembuatan alat, pengujian fungsional berdasarkan Hukum Melde, validasi oleh ahli media dan ahli materi, serta revisi produk sesuai masukan validator agar memenuhi aspek kelayakan. Tahap *implementation* dilaksanakan pada 28 peserta didik kelas XI-B MAN 1 Nganjuk melalui pembelajaran menggunakan model inkuiri terbimbing dengan memanfaatkan *WaveTimer* sebagai alat praktikum. Data penelitian diperoleh melalui observasi, wawancara, angket, dan tes hasil belajar. Kepraktisan produk dianalisis berdasarkan keterlaksanaan pembelajaran dan respons pengguna, sedangkan keefektifan ditentukan melalui hasil *pretest* dan *posttest*. Data terlebih dahulu diuji normalitas menggunakan *Shapiro Wilk*, kemudian dianalisis menggunakan *Wilcoxon Signed Rank Test* karena tidak berdistribusi normal. Peningkatan hasil belajar selanjutnya dihitung menggunakan *N-Gain*. Tahap *evaluation* dilakukan secara formatif pada setiap proses pengembangan sebagai dasar penyempurnaan *WaveTimer* hingga diperoleh produk yang valid, praktis, dan efektif untuk digunakan dalam pembelajaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

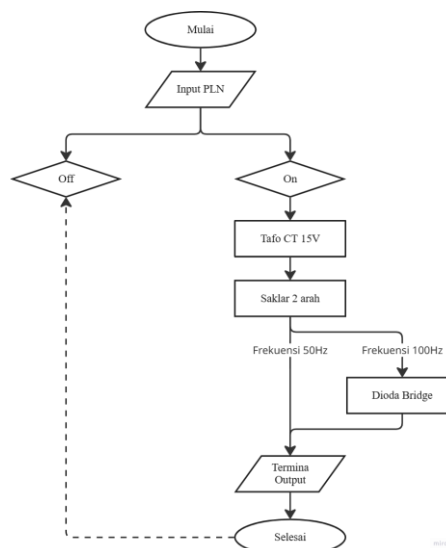
Hasil penelitian disajikan berdasarkan tahapan model ADDIE, yaitu *Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*, dalam pengembangan alat praktikum *WaveTimer* (*Mechanical Wave Generator with Ticker Timer*). Setiap tahap dilaksanakan secara sistematis sesuai dengan prosedur penelitian, kemudian dianalisis berdasarkan data yang diperoleh serta didukung oleh referensi yang relevan hingga menghasilkan produk yang layak digunakan dalam pembelajaran. Tahap *analysis* bertujuan mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran sebagai dasar pengembangan *WaveTimer*. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan guru fisika di MAN 1 Nganjuk, pembelajaran gelombang mekanik belum didukung oleh alat praktikum yang mampu memperlihatkan fenomena gelombang secara optimal. Alat yang tersedia, seperti *slinky*, *ripple tank*, dan alat Melde, masih memiliki keterbatasan dalam menghasilkan gelombang yang stabil serta belum sepenuhnya mendukung kegiatan praktikum di kelas. Akibatnya, peserta didik lebih banyak mempelajari konsep melalui penjelasan guru dibandingkan melakukan pengamatan secara langsung. Padahal, pengalaman praktikum berperan penting dalam membantu peserta didik memahami konsep fisika dan meningkatkan hasil belajar. Temuan tersebut menjadi dasar perlunya pengembangan *WaveTimer* sebagai alternatif alat praktikum yang lebih mudah digunakan, praktis, dan mampu menghasilkan visualisasi gelombang yang lebih stabil.



Gambar 2. Ilustrasi Praktikum *WaveTimer*
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Tahap *design* dilakukan berdasarkan analisis hasil kebutuhan untuk merancang *WaveTimer (Mechanical Wave Generator with Ticker Timer)* sesuai dengan karakteristik materi gelombang mekanik dan kebutuhan pembelajaran. Perancangan meliputi desain mekanik, pemilihan komponen utama, prinsip kerja, serta tata letak setiap bagian agar alat mampu menghasilkan getaran dengan frekuensi yang stabil. Selain memperhatikan aspek fungsional, desain juga mempertimbangkan kemudahan penggunaan, keamanan, efisiensi biaya, dan kemudahan perawatan sehingga layak digunakan sebagai alat praktikum di sekolah. Harlinda dan Suratmi (2024) menyatakan bahwa media pembelajaran yang dikembangkan berdasarkan analisis kebutuhan dan karakteristik pengguna lebih sesuai dengan tujuan pembelajaran. Hasil rancangan *WaveTimer* yang direalisasikan beserta diagram bagian dan fungsi setiap komponen yang digunakan disajikan pada **Gambar 2**. Rancangan tersebut selanjutnya menjadi acuan pada tahap pengembangan untuk proses pembuatan, validasi, dan penyempurnaan produk.

Selain perancangan produk, tahap *design* juga mencakup penyusunan perangkat pembelajaran dan instrumen penelitian sebagai pendukung pelaksanaan uji coba. Perangkat pembelajaran yang disusun meliputi modul ajar, Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD), serta soal *pretest* dan *posttest* yang mengacu pada capaian pembelajaran materi gelombang mekanik dalam Kurikulum Merdeka. Instrumen penelitian terdiri atas lembar validasi ahli materi dan ahli media, lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran, angket respons guru dan peserta didik, serta tes hasil belajar. Seluruh perangkat dan instrumen disusun secara sistematis agar sesuai dengan tujuan pengembangan serta menghasilkan data yang mendukung penilaian validitas, kepraktisan, dan keefektifan produk. Selanjutnya, seluruh rancangan divalidasi pada tahap *development* sebelum digunakan dalam proses pembelajaran.



Gambar 3. Flowcart Alat Praktikum *WaveTimer*
(Sumber: Dokumen Pribadi)

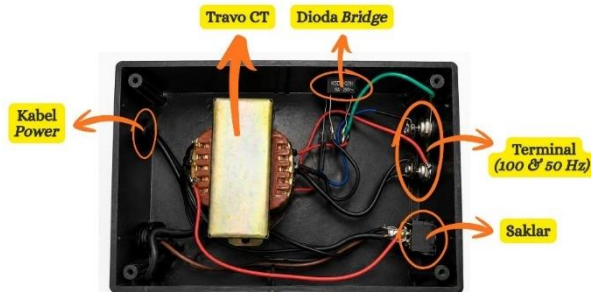
Tahap *development* dilakukan dengan merealisasikan rencana *WaveTimer (Mechanical Wave Generator with Ticker Timer)* menjadi produk yang siap digunakan. *WaveTimer* terdiri atas *ticker timer* sebagai sumber getaran, transformator CT 15 V, *dioda jembatan*, saklar pemilih frekuensi 50Hz dan 100 Hz, katrol, tali, dan beban sebagai pengatur tegangan tali. Alat bekerja berdasarkan Hukum Melde untuk menghasilkan gelombang mekanik dengan frekuensi yang stabil. Produk selanjutnya divalidasi oleh ahli media dan ahli materi. Masukan validator digunakan sebagai dasar penyempurnaan, meliputi perbaikan tampilan alat, pengaturan komponen, penyempurnaan petunjuk penggunaan, serta peningkatan keamanan. Ringkasan hasil revisi disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Revisi Produk Berdasarkan Masukan Validator

Kondisi Awal	Saran Validator	Hasil Revisi
Tata letak komponen kurang rapi	Menata ulang komponen	Komponen disusun lebih sistematis
Petunjuk penggunaan kurang rinc	Menambahkan langkah penggunaan	Petunjuk direvisi lebih jelas
Tampilan dan keamanan alat belum optimal	Meningkatkan estetika dan keamanan	Tampilan diperbaiki dan pelindung komponen ditambahkan



Gambar 4. Gambar Alat Praktikum *WaveTimer*
(Sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 5. Rangkaian Elektrik *WaveTimer*
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Untuk memastikan bahwa *WaveTimer* bekerja sesuai prinsip Hukum Melde, dilakukan penentuan parameter fisis yang digunakan dalam pengujian. Tegangan tali dihitung menggunakan **Persamaan (1)**, sedangkan rapat massa linear dihitung menggunakan **Persamaan (2)**. Selanjutnya, cepat rambat gelombang secara teoretis ditentukan menggunakan **Persamaan (3)** dan dibandingkan dengan hasil pengamatan berdasarkan **Persamaan (4)**.

$$T = m_{\text{beban}} \times g \quad (1)$$

$$\mu = \frac{m}{l} \quad (2)$$

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (3)$$

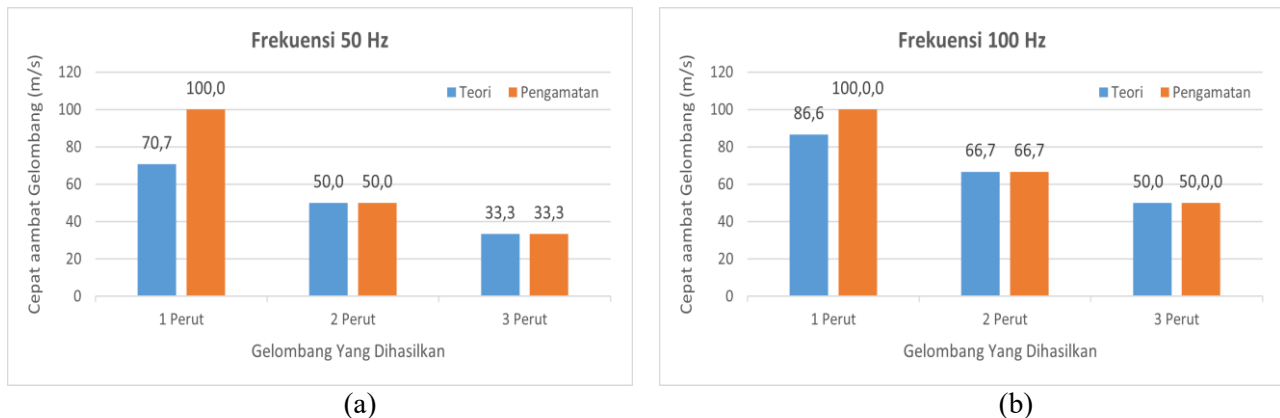
$$v = \lambda \times f \quad (4)$$

Keterangan:

T	= Tegangan tali (kg/m)
m_{beban}	= massa beban yang digantung (kg)
g	= percepatan gravitasi ($9,8\text{m/s}^2$ atau 10m/s^2)
μ	= rapat massa linear tali (kg/m)
m	= massa tali (kg)
l	= panjang tali (m)
v	= cepat rambat gelombang (m/s)
μ	= rapat massa linear tali (kg/m)
λ	= panjang gelombang (m)
f	= frekuensi (Hz)

Melalui pemanfaatan persamaan tersebut, kesesuaian antara teori dan hasil praktikum dapat diuji untuk mengevaluasi kinerja *WaveTimer* secara kuantitatif. Validitas alat peraga fisika ini dicapai dengan menyelaraskan fungsi setiap komponen dan prinsip kerjanya. Guna menghasilkan getaran berfrekuensi stabil, proses produksinya melalui tahapan pembuatan rangka, perakitan instrumen, pemasangan penggerak, hingga penyempurnaan sistem mekanis. Di samping itu, efisiensi biaya, daya tahan, keamanan, dan kemudahan pengoperasian menjadi aspek penting yang dipertimbangkan agar alat ini ramah diadopsi oleh sekolah. Alur pengembangan yang terstruktur sesuai desain awal memastikan produk akhir sejalan dengan tujuan

pembelajaran. Langkah pamungkas dari fase ini adalah penilaian kelayakan *prototipe* oleh pakar materi dan pakar media sebelum resmi diimplementasikan dalam kegiatan belajar mengajar.



Gambar 6. Data Hasil *WaveTimer* (a) Frekuensi 50Hz, (b) Frekuensi 100Hz

Hasil uji fungsional menunjukkan bahwa *WaveTimer* (*Mechanical Wave Generator with Ticker Timer*) mampu menghasilkan karakteristik gelombang yang sesuai dengan prinsip Hukum Melde, ditunjukkan oleh kesesuaian nilai cepat rambat gelombang antara hasil pengamatan dan perhitungan teoretis pada sebagian besar kondisi pengujian, khususnya pada pembentukan dua dan tiga perut gelombang. Perbedaan yang masih ditemukan pada pembentukan satu perut disebabkan oleh ketidakstabilan mekanis akibat penggunaan massa beban yang relatif besar, sehingga memengaruhi ketelitian pengamatan panjang gelombang. Meskipun demikian, secara umum hasil pengujian membuktikan bahwa *WaveTimer* mampu bekerja sesuai prinsip fisis gelombang pada tali dan menghasilkan data yang konsisten dengan teori Hukum Melde. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Febrianti & Prabowo, 2021) yang menunjukkan bahwa alat praktikum berbasis percobaan Melde mampu menghasilkan pengukuran karakteristik gelombang dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Hasil penelitian ini juga mendukung temuan (Octaviani *et al.*, 2021) bahwa alat praktikum gelombang yang dirancang secara sistematis dapat menghasilkan data pengukuran yang valid untuk menjelaskan hubungan antara tegangan tali, panjang gelombang, frekuensi, dan cepat rambat gelombang. Dengan demikian, uji fungsional yang dilakukan membuktikan bahwa *WaveTimer* telah memenuhi aspek fungsionalitas sebagai alat praktikum sehingga layak untuk dilanjutkan pada tahap validasi ahli dan implementasi dalam pembelajaran.

Produk *WaveTimer* (*Mechanical Wave Generator with Ticker Timer*) yang telah dikembangkan selanjutnya divalidasi oleh ahli materi dan ahli media untuk menilai kelayakannya sebelum diterapkan dalam pembelajaran. Validasi ahli materi meliputi kesesuaian konsep fisika, capaian pembelajaran, keakuratan isi, dan relevansi alat pada materi gelombang mekanik. Sementara itu, validasi ahli media mencakup aspek desain, kualitas teknis, kemudahan penggunaan, keamanan, dan fungsi setiap komponen. Tahap validasi dilakukan untuk memastikan bahwa produk memenuhi standar kualitas sebelum diimplementasikan kepada peserta didik. Berdasarkan hasil validasi, *WaveTimer* memperoleh kategori sangat valid sehingga dinyatakan layak digunakan pada tahap Implementation setelah dilakukan penyempurnaan sesuai saran para validator.

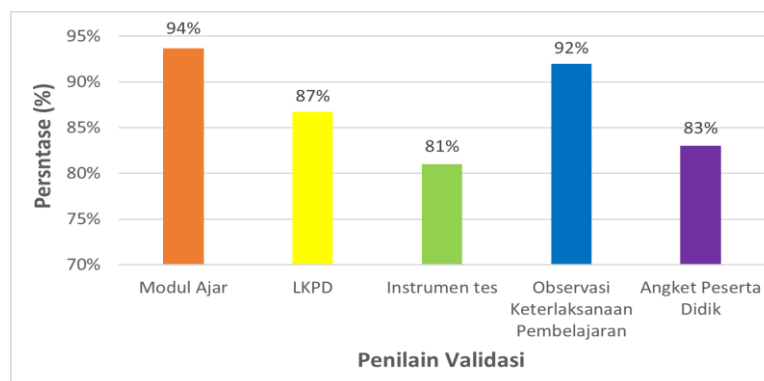
Tabel 2. Hasil Validasi *WaveTimer*

Aspek Penilaian	V1	V2	V3	Skor Akhir	Keterangan
Tampilan Alat Praktikum				0,92	Sangat Valid
Desain & Estetika	3	3	4	0,83	Sangat Valid
Pemasangan Komponen	4	4	4	1,00	Sangat Valid
Kejelasan Label & Skala	4	3	4	0,92	Sangat Valid
Kualitas Material	3	3	3	0,75	Valid
Kepraktisan Penggunaan				0,92	Sangat Valid
Manajemen Penyimpanan	4	4	4	1,00	Sangat Valid
Kemudahan Pengoperasian	3	4	4	0,92	Sangat Valid
Perawatan Alat	4	3	3	0,83	Sangat Valid
Keamanan Penggunaan	3	4	4	0,92	Sangat Valid
Materi/Rumus				0,81	Sangat Valid
Visualisasi Konsep	4	3	4	0,92	Sangat Valid

Aspek Penilaian	V1	V2	V3	Skor Akhir	Keterangan
Kesesuaian Kognitif Peserta didik	3	3	3	0,75	Valid
Kestabilan Frekuensi Alat	3	3	4	0,83	Sangat Valid
Akurasi Data Hasil Cetak	3	3	3	0,75	Valid
Skor Rata-Rata				0,88	Sangat Valid

Berdasarkan hasil validasi pada **Tabel 1**, *WaveTimer* memperoleh kategori sangat valid, baik dari aspek materi maupun media, sehingga dinyatakan layak untuk digunakan dalam proses pembelajaran setelah dilakukan penyempurnaan sesuai saran validator. Hasil tersebut menunjukkan bahwa produk telah memenuhi kriteria kelayakan dari segi isi, penyajian, tampilan, dan fungsi alat sebagai media praktikum gelombang mekanik. Kelayakan produk yang tinggi menunjukkan bahwa *WaveTimer* mampu merepresentasikan konsep gelombang mekanik secara tepat serta memiliki karakteristik yang sesuai untuk mendukung kegiatan praktikum dan meningkatkan kualitas pembelajaran fisika. Meskipun demikian, validator tetap memberikan beberapa masukan sebagai dasar penyempurnaan produk sebelum diimplementasikan dalam pembelajaran.

Meskipun *WaveTimer* memperoleh kategori sangat valid, para validator memberikan beberapa saran untuk menyempurnakan produk. Revisi dilakukan pada tampilan alat, tata letak komponen, petunjuk penggunaan, serta beberapa komponen agar lebih aman dan mudah dioperasikan. Perbaikan tersebut bertujuan meningkatkan kualitas produk sebelum diimplementasikan dalam pembelajaran. *Tahap development* juga mencakup validasi perangkat pembelajaran dan instrumen penelitian oleh tiga validator, yaitu dua dosen Pendidikan Fisika UNESA dan satu guru fisika MAN 1 Nganjuk. Validasi meliputi Modul Ajar, LKPD, lembar observasi kepraktisan, soal *pretest* dan *posttest*, serta angket respons untuk memastikan seluruh perangkat layak digunakan dalam penelitian.



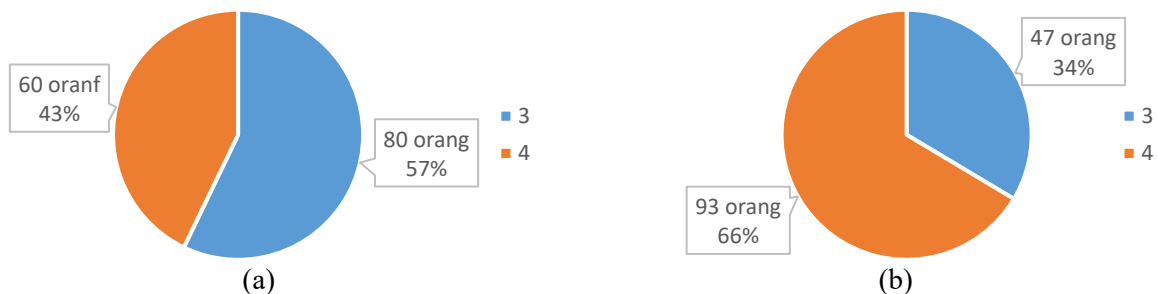
Gambar 7. Persentase Skor Rata-Rata Validitas Perangkat Pembelajaran dan Instrumen Penelitian

Hasil validasi menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran dan instrumen penelitian telah memenuhi aspek kesesuaian isi, konstruksi, kebahasaan, dan keterukuran sehingga layak digunakan dalam penelitian. Validitas modul ajar dan LKPD menunjukkan kesesuaiannya dengan sintaks pembelajaran inkuiri terbimbing serta capaian pembelajaran materi gelombang mekanik. Selain itu validitas lembar observasi, angket respons, dan tes hasil belajar menunjukkan bahwa instrumen tersebut mampu mengukur keterlaksanaan pembelajaran, respons peserta didik, dan hasil belajar pada ranah pengetahuan secara tepat. Menurut Nieveen (1999) perangkat pembelajaran dinyatakan valid apabila memenuhi aspek *content validity* dan *construct validity*. Dengan demikian, seluruh perangkat pembelajaran dan instrumen penelitian dinyatakan layak digunakan pada tahap *implementation* setelah dilakukan penyempurnaan sesuai masukan dari para validator.

Tabel 3. Persentase Skor Keterlaksanaan Setiap Komponen

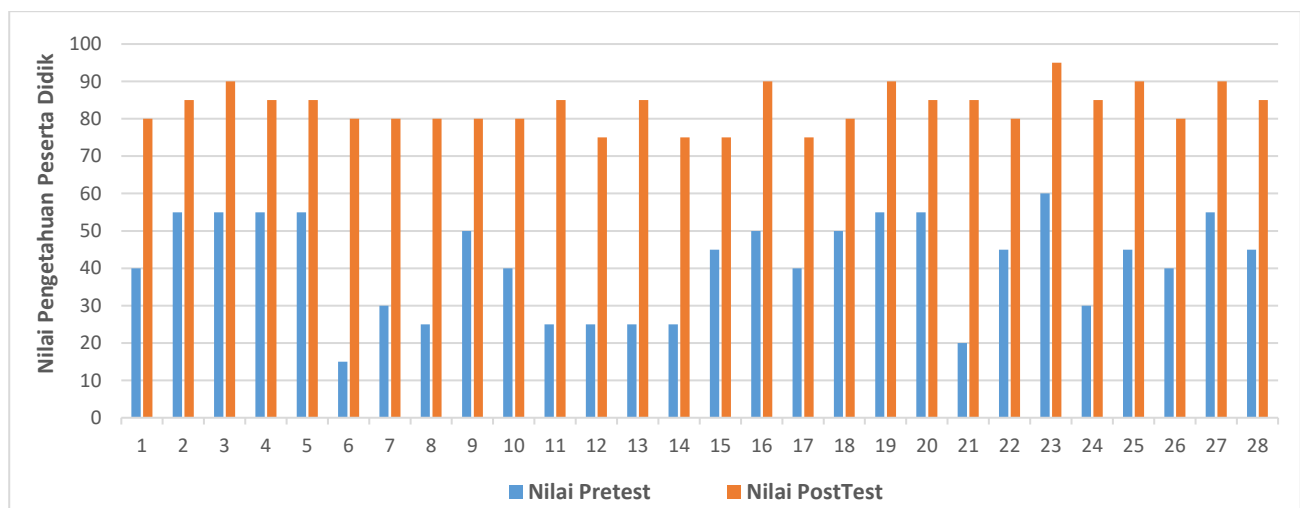
Aspek	V1	V2	V3	Skor Akhir	Kategori
Kegiatan Pendahuluan	95%	90%	95%	93%	Sangat praktis
Kegiatan Inti (<i>Inquiry Terbimbing</i>)	93%	97%	98%	96%	Sangat praktis
Kegiatan Penutup dan refleksi	94%	94%	94%	94%	Sangat praktis
Pengelolaan Kelas	92%	92%	92%	92%	Sangat praktis
Perangkat Pembelajaran	88%	100%	88%	92%	Sangat praktis
Rata-Rata Skor Total				95%	Sangat Baik

Tahap *implementation* dilakukan dengan menerapkan *WaveTimer* (*Mechanical Wave Generator with Ticker Timer*) pada pembelajaran fisika materi gelombang mekanik di MAN 1 Nganjuk menggunakan model pembelajaran inkuiri terbimbing. Sebelum digunakan, *WaveTimer* telah dinyatakan valid melalui validasi ahli dan memenuhi kriteria fungsional berdasarkan hasil uji teknis pada tahap *development*. Selama pembelajaran, peserta didik memanfaatkan *WaveTimer* untuk melakukan praktikum, mengamati karakteristik gelombang mekanik, menganalisis hubungan antara frekuensi, panjang gelombang, dan cepat rambat gelombang, kemudian menyusun kesimpulan berdasarkan hasil pengamatan. Kegiatan praktikum yang dipadukan dengan pembelajaran inkuiri terbimbing memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk terlibat aktif dalam proses penyelidikan sehingga pemahaman konsep menjadi lebih bermakna (Yannier *et al.*, 2020).



Gambar 8. Persentase Respon Peserta Didik (a) pada media, (b) pada materi

Kepraktisan penggunaan *WaveTimer* dianalisis berdasarkan hasil observasi keterlaksanaan pembelajaran serta angket respons guru dan peserta didik. Hasil observasi menunjukkan bahwa seluruh tahapan pembelajaran menggunakan model inkuiri terbimbing dapat terlaksana dengan baik sesuai sintaks pembelajaran. Selain itu, guru dan peserta didik memberikan respons yang sangat baik terhadap penggunaan *WaveTimer* karena alat mudah dioperasikan, mampu memperjelas konsep gelombang mekanik, dan meningkatkan keterlibatan peserta didik selama praktikum. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *WaveTimer* memiliki tingkat kepraktisan yang tinggi sehingga mudah diterapkan dalam pembelajaran fisika.



Gambar 6. Perolehan Skor *Pretest* dan *Posttes* peserta didik

Hasil *implementation* menunjukkan bahwa penggunaan *WaveTimer* (*Mechanical Wave Generator with Ticker Timer*) yang dipadukan dengan model pembelajaran inkuiri terbimbing mampu meningkatkan hasil belajar peserta didik pada materi gelombang mekanik. Peningkatan tersebut didukung oleh keterlibatan peserta didik dalam kegiatan praktikum mulai dari mengamati fenomena, mengumpulkan dan menganalisis data, hingga menyusun kesimpulan berdasarkan hasil penyelidikan. Pengalaman belajar secara langsung membantu peserta didik memahami konsep gelombang yang bersifat abstrak melalui visualisasi fenomena secara nyata. Hal ini sejalan dengan teori konstruktivisme yang menyatakan bahwa pengetahuan dibangun melalui pengalaman dan interaksi dengan lingkungan belajar (Piaget, 1950; Vygotsky, 1978). Dengan demikian, penggunaan *WaveTimer* sebagai alat praktikum dapat memperkuat pemahaman konsep sekaligus meningkatkan hasil belajar peserta didik.

Tabel 4. Uji Normalitas

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
PRE	.148	28	.120	.904	28	.014
POST	.192	28	.010	.916	28	.027

Tabel 5. Deskripsi Statistik Hasil *Pretest-Posttest*

Descriptive Statistics					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
PRE	28	15.00	60.00	41.2500	13.16737
POST	28	75.00	95.00	83.2143	5.30798
Valid N (listwise)	28				

Tabel 6. Hasil Uji *Wilcoxon Signed Ranks* pada *Pretest-Posttest*

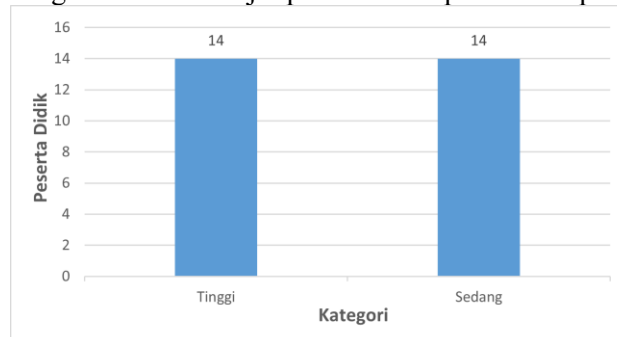
Ranks			
	N	Mean Rank	Sum of Ranks
POST - PRE Negative Ranks	0 ^a	.00	.00
Positive Ranks	28 ^b	14.50	406.00
Ties	0 ^c		
Total	28		

a. POST < PRE

b. POST > PRE

c. POST = PRE

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *WaveTimer* (*Mechanical Wave Generator with Ticker Timer*) terhadap hasil belajar peserta didik, data *pretest* dan *posttest* dianalisis menggunakan uji normalitas *Shapiro Wilk*. Berdasarkan **Tabel 4** nilai signifikansi *pretest* (0,014) dan *posttest* (0,027) lebih kecil dari 0,05, sehingga data tidak berdistribusi normal. Oleh karena itu, analisis dilanjutkan menggunakan *Wilcoxon Signed Rank Test*. **Tabel 5** menunjukkan bahwa rata-rata nilai peserta didik meningkat dari 41,25 pada *pretest* menjadi 83,21 pada *posttest*. Hasil uji *Wilcoxon* pada **Tabel 6** juga menunjukkan seluruh peserta didik mengalami peningkatan hasil belajar (*positive ranks* = 28), tanpa penurunan (*negative ranks* = 0) maupun nilai yang tetap (*ties* = 0). Selain itu, nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* < 0,05 menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara hasil *pretest* dan *posttest*. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *WaveTimer* memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan hasil belajar peserta didik pada ranah pengetahuan.

**Gambar 7.** Distribusi Tingkat Perolehan Nilai *N-Gain* Hasil Belajar Peserta Didik

Selain uji statistik, peningkatan hasil belajar dianalisis menggunakan *N-Gain* untuk mengetahui efektivitas pembelajaran dengan *WaveTimer*. Hasil analisis menunjukkan nilai rata-rata *N-Gain* sebesar 0,702 yang termasuk kategori tinggi berdasarkan klasifikasi Hake (1998). Hasil tersebut menunjukkan bahwa *WaveTimer* efektif dalam meningkatkan hasil belajar peserta didik pada materi gelombang mekanik. Keefektifan ini didukung oleh kegiatan praktikum yang dipadukan dengan pembelajaran inkuiri terbimbing sehingga peserta didik dapat merumuskan hipotesis, melakukan penyelidikan, mengumpulkan dan menganalisis data, serta menyusun kesimpulan berdasarkan hasil pengamatan. Proses tersebut membantu peserta didik menghubungkan konsep fisika dengan fenomena nyata sehingga pembelajaran menjadi lebih

aktif dan bermakna. Temuan ini sejalan dengan penelitian Owusu (2023) yang menyatakan bahwa kegiatan praktikum mampu meningkatkan pemahaman konsep dan hasil belajar fisika peserta didik. Hasil penelitian ini juga didukung oleh (Febrina & Setiawan, 2024) dan (Arozatulo Bawamenewi & Riana Riana, 2024) yang menunjukkan bahwa penggunaan media praktikum mampu meningkatkan keterlibatan peserta didik selama pembelajaran. Selain itu (Morris, 2025) menjelaskan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri mendorong peserta didik membangun pengetahuan melalui proses penyelidikan ilmiah. Dengan demikian, peningkatan hasil belajar pada penelitian ini tidak hanya dipengaruhi oleh penggunaan *WaveTimer* sebagai alat praktikum, tetapi juga oleh penerapan model pembelajaran inkuiri terbimbing yang memberikan pengalaman belajar secara aktif dan sistematis.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa *WaveTimer* (*Mechanical Wave Generator with Ticker Timer*) layak digunakan sebagai alat praktikum pada materi gelombang mekanik. Selain mudah dioperasikan dan ekonomis, *WaveTimer* juga berpotensi dikembangkan untuk materi fisika lain yang memiliki prinsip kerja serupa, seperti getaran harmonik dan resonansi. Oleh karena itu, *WaveTimer* dapat menjadi alternatif alat praktikum yang mendukung pembelajaran berbasis praktikum sesuai dengan Kurikulum Merdeka serta membantu meningkatkan hasil belajar peserta didik.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa *WaveTimer* (*Mechanical Wave Generator with Ticker Timer*) memenuhi kriteria valid, dengan hasil validasi ahli media sebesar 95% dan ahli materi sebesar 90%, serta didukung oleh perangkat pembelajaran dan instrumen penelitian yang berkategori sangat valid. Dari aspek kepraktisan, *WaveTimer* memperoleh kategori sangat baik berdasarkan keterlaksanaan pembelajaran serta respons positif guru dan peserta didik selama proses pembelajaran. Dari aspek keefektifan, penggunaan *WaveTimer* melalui pembelajaran berbasis inkuiri terbimbing terbukti meningkatkan hasil belajar peserta didik pada ranah kognitif, ditunjukkan oleh perbedaan signifikan antara nilai *pretest* dan *posttest* ($p < 0,05$) serta nilai *N-Gain* sebesar 0,702 yang termasuk kategori tinggi. Dengan demikian, *WaveTimer* dinyatakan valid, praktis, dan efektif sehingga layak digunakan sebagai alternatif alat praktikum untuk mendukung pembelajaran gelombang mekanik dan meningkatkan hasil belajar peserta didik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi S1 Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Surabaya, atas dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada MAN 1 Nganjuk, khususnya kepala sekolah, guru fisika, peserta didik, serta para validator yang telah memberikan bantuan, kerja sama, dan masukan dalam proses pengembangan serta pengujian *WaveTimer* (*Mechanical Wave Generator with Ticker Timer*) sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

KONTRIBUSI PENULIS

Nadiya Ayuni Salma: *Conceptualization, Methodology, Investigation, Formal Analysis, Data Curation, Validation, Visualization, Writing – Original Draft, dan Writing – Review & Editing*. Drs. Imam Sucahyo, M.Si.: *Conceptualization, Methodology, Supervision, Validation, Writing – Review & Editing, dan Project Administration*. Semua penulis telah membaca, meninjau, dan menyetujui versi akhir naskah.

PERNYATAAN BEBAS KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang dapat mempengaruhi hasil yang dilaporkan dalam naskah ini.

PERNYATAAN ETIKA PENELITIAN DAN PUBLIKASI

Para penulis menyatakan bahwa penelitian dan penulisan naskah ini telah mematuhi standar etika penelitian dan publikasi, sesuai dengan prinsip ilmiah, serta bebas dari plagiasi.

PERNYATAAN PEMANFAATAN TEKNOLOGI ASISTIF

Para penulis menyatakan bahwa Kecerdasan Buatan Generatif (*Generative Artificial Intelligence*) dan teknologi asistif lainnya tidak digunakan secara berlebihan dalam proses penelitian dan penulisan naskah ini. Secara khusus, ChatGPT digunakan untuk membantu penyusunan struktur naskah, penyempurnaan tata bahasa, penyuntingan kalimat agar lebih efektif dan sesuai dengan kaidah bahasa Indonesia ilmiah, serta memberikan masukan dalam penyusunan uraian pembahasan berdasarkan data yang telah diperoleh penulis.

Para penulis telah meninjau, memverifikasi, dan menyunting seluruh konten yang dihasilkan oleh AI guna memastikan ketepatan, kesesuaian dengan data penelitian, kelengkapan, serta kepatuhan terhadap standar etika dan ilmiah, dan bertanggung jawab penuh atas naskah versi akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Akeu, P., Purnamasari, S., & Rahmانيar, A. (2025). Penggunaan LKPD berbasis inkuiri terbimbing untuk meningkatkan keterampilan proses sains siswa pada materi getaran dan gelombang. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 15(2), 731–740. <https://doi.org/10.37630/jpm.v15i2.2802>
- Ariani, N. A., Gumay, O. P., & Amin, A. (2023). Pengembangan alat praktikum papan seluncur pada materi hukum Newton untuk meningkatkan minat dan hasil belajar. *Luminous: Riset Ilmiah Pendidikan Fisika*, 4(2), 56–61.
- Bawamenewi, A., & Riana, R. (2024). Implementasi media pembelajaran berbasis teknologi terhadap motivasi belajar. *Faedah: Jurnal Hasil Kegiatan Pengabdian Masyarakat Indonesia*, 2(4), 10–99. <https://doi.org/10.59024/faedah.v2i4.1037>
- Asy'arie, B. F., Aziz, M. H., Bahy, M. B. A., Rahman, A., & Mariyana, W. (2025). Kurikulum Merdeka belajar: Menelaah tren model pembelajaran di sekolah dan madrasah. *Jurnal Pendidikan Dasar dan Keguruan*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.47435/jpd.v10i1.3233>
- Branch, R. M. (2009). *Instructional design: The ADDIE approach*. Springer.
- Wulansari, E. T., Masruroh, R., Muzammil, M. H., & Bektiarso, S. (2024). Analisis penerapan metode pembelajaran problem based learning (PBL) meningkatkan pemahaman siswa dalam pelajaran fisika. *Journal Innovation in Education*, 3(1), 8–12. <https://doi.org/10.59841/inoved.v3i1.2040>
- Febrianti, A. V., & Prabowo, P. (2021). Pengembangan media Hukum Melde berbasis aplikasi Physics Toolbox Sensor Suite pada materi gelombang stasioner kelas XI SMA. *Inovasi Pendidikan Fisika*, 10(1), 72–83. <https://doi.org/10.26740/ipf.v10n1.p72-83>
- Febrina, V., & Setiawan, D. (2024). Analysis of the use of learning media on the learning interest of learning science students and environmental themes. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(8), 5702–5709. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i8.7497>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Harlinda, A., & Suratmi. (2024). Needs analysis as the first step of Articulate Storyline-assisted learning media development. *Jurnal Cakrawala Pendas*, 10(3), 446–457. <https://doi.org/10.31949/jcp.v10i3.9082>
- Hasnawiyah, H., & Maslena, M. (2024). Dampak penggunaan media pembelajaran interaktif terhadap prestasi belajar sains siswa. *Jurnal Review Pendidikan Dasar: Jurnal Kajian Pendidikan dan Hasil Penelitian*, 10(2), 167–172. <https://doi.org/10.26740/jrpd.v10n2.p167-172>
- Hikmawati, H., Kosim, K., & Ayub, S. (2023). Analisis ketuntasan hasil belajar ranah kognitif mahasiswa pada perkuliahan gelombang dan optik dengan menggunakan media simulasi PHET. *Journal of Classroom Action Research (JCAR)*, 5(2), 23–28.
- Akbar, J. S., Rumengan, S. M., Mokal, Y. B., Djakariah, D., & Akbar, A. F. (2025). Pembuatan disertai pelatihan inovasi alat praktikum destilator elektrik terintegrasi augmented reality berbasis etnosains berbantuan AI pada siswa MAK Madani Manado. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, 4(2), 11651–11657. <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i2.3829>
- Jamila, S., Verawati, N. N. S. P., & Makhrus, M. (2023). Pengaruh model problem based learning berbantuan media PhET terhadap hasil belajar gelombang berjalan dan gelombang stasioner peserta didik kelas XI. *Lensa: Jurnal Kependidikan Fisika*, 11(1), 8–14.
- Herung, J. R., Kamagi, D. W., & Taulu, M. L. S. (2025). Peningkatan kemampuan berpikir kreatif siswa melalui model pembelajaran inkuiri terbimbing pada materi keanekaragaman hayati. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, 3(4), 4836–4846. <https://doi.org/10.31004/jerkin.v3i4.1352>
- Khotimah, N., Rusyati, L., Sriwulan, W., & Hakim, M. I. (2023). Upaya peningkatan kemampuan mengamati, menerapkan konsep, dan menyimpulkan peserta didik menggunakan pembelajaran berbasis praktikum. *Prima Magistra: Jurnal Ilmiah Kependidikan*, 4(3), 373–380. <https://doi.org/10.37478/jpm.v4i3.2813>
- Morris, D. L. (2025). Rethinking science education practices: Shifting from investigation-centric to comprehensive inquiry-based instruction. *Education Sciences*, 15(1), 73. <https://doi.org/10.3390/educsci15010073>

- Ningsih, M. A., Islami, N., & Yennita. (2023). Efektivitas aplikasi PhET untuk meningkatkan hasil belajar kognitif pada materi gelombang berjalan dan gelombang stasioner. *Jurnal Penelitian Pendidikan Fisika*, 8(4), 290–296.
- Octaviani, L. A., Prastowo, S. H. B., & Anggraeni, F. K. A. (2021). Desain rancang bangun trainer kit untuk menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika dan Riset Ilmiah*, 5(1), 33–42. <https://doi.org/10.30599/jipfri.v5i1.838>
- Owusu, G. (2023). The effect of laboratory practical activities on senior high school student's academic performance in relation to force concept. *International Journal of Education, Culture, and Society*, 1(1), 35–48. <https://doi.org/10.58578/ijecs.v1i1.1496>
- Piaget, J. (1950). *The psychology of intelligence*. Routledge & Kegan Paul.
- Putri, R., Diani, R., & Yuberti. (2020). Pengembangan alat praktikum bak simulasi riak gelombang pada materi gelombang untuk peserta didik SMA/MA. *U-Teach: Journal Education of Young Physics Teacher*, 1(1), 1–10.
- Triansyah, F. A., Lubis, N. P. S., Ritonga, M., Thania, A. C., Irwandi, H., & Nofriansyah, N. (2025). Tren pemetaan riset entrepreneurship education dan education computing di universitas: Sebuah analisis bibliometrik. *Research and Development Journal of Education*, 11(2), 914. <https://doi.org/10.30998/rdje.v11i2.21648>
- Ulfia, N., & Wahyuni, S. (2025). Analisis pengaruh penggunaan laboratorium virtual (PhET simulations) terhadap hasil belajar IPA siswa SMP: Study literature review. *Kalam Cendekia: Jurnal Ilmiah Kependidikan*, 13(2). <https://doi.org/10.20961/jkc.v13i2.103602>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Widyastuti, I., Winarno, N., 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>
- Yannier, N., Hudson, S. E., & Koedinger, K. R. (2020). Active learning is about more than hands-on: A mixed-reality AI system to support STEM education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 30(1), 74–96. <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00194-3>