

Penggunaan Sensor dalam Alat Praktikum Ayunan Bandul pada Materi Getaran Harmonis Sederhana

Ayu Fatimah^{1*}, Fauzi Bakri¹, Hadi Nasbey¹

¹Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

ABSTRACT

The *Sustainable Development Goals (SDGs)* adopted by the *United Nations (UN)* in 2015 include 17 global goals, with the fourth goal (SDG 4) focusing on quality education. This research aims to address challenges in delivering education in Indonesia, including the development of a quality, inclusive education system that utilizes technology. The research employs the ADDIE method (*Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation*). During the analysis stage, the needs of learners and the devices to be developed are identified. In the design stage, a practical pendulum swing tool based on sensors and Arduino is designed to enhance measurement accuracy and understanding of physics concepts. This tool is equipped with frequency sensors, count sensors, and variations in string length for flexibility in experiments. The result of this development is a practical tool that can record data accurately and provide an understanding of the dynamics of the gravitational system. It is hoped that this innovation will improve the effectiveness of physics learning and help students achieve a better understanding of physics concepts.

ABSTRAK

Sustainable Development Goals (SDGs) yang diadopsi oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada tahun 2015 mencakup 17 tujuan global, termasuk tujuan keempat (SDG 4) berfokus pada pendidikan berkualitas. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi tantangan dalam penyelenggaraan pendidikan di Indonesia, termasuk pengembangan sistem pendidikan yang berkualitas, inklusif, dan menggunakan teknologi. Penelitian ini menggunakan metode ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation*). Pada tahap analisis dilakukan identifikasi kebutuhan peserta didik dan perangkat yang akan dikembangkan. Pada tahap perancangan, dilakukan dengan membuat rancangan alat praktikum ayunan bandul berbasis sensor dan Arduino yang dirancang untuk meningkatkan akurasi pengukuran dan pemahaman konsep fisika. Alat ini dilengkapi dengan sensor frekuensi, sensor cacah, serta variasi panjang tali untuk fleksibilitas dalam eksperimen. Hasil dari pengembangan ini berupa alat praktikum yang dapat mencatat data dengan akurasi dan memberikan pemahaman tentang dinamika sistem gravitasi. Diharapkan bahwa inovasi ini akan meningkatkan efektivitas pembelajaran fisika dan membantu siswa mencapai pemahaman yang lebih baik terhadap konsep-konsep fisika.

KONTAK

ayufatimah303@gmail.com

KATA KUNCI

Alat Praktikum, Fisika, Ayunan Bandul, Sensor, Pembelajaran, Getaran Harmonis Sederhana

PENDAHULUAN

Pendidikan nasional Indonesia, yang berlandaskan Pancasila dan Undang-Undang Dasar 1945, berperan penting dalam meningkatkan kualitas hidup dan martabat masyarakat. Tujuan utamanya adalah mencerdaskan kehidupan bangsa dengan pendekatan holistik yang mencakup aspek spiritual, moral, pengetahuan, keterampilan, kesehatan, kepribadian, dan tanggung jawab sosial (Syafri & Zen, 2017). Hal ini sejalan dengan *Sustainable Development Goals (SDGs)*, yang menekankan pentingnya pendidikan berkualitas yang inklusif dan merata (Sudipa, 2023). Dalam era digital, teknologi menjadi alat penting yang memperluas akses terhadap sumber daya pendidikan dan mendukung metode pembelajaran inovatif, sehingga pendidikan dapat disampaikan secara interaktif dan personal, memenuhi beragam kebutuhan peserta didik (Pursitasari, 2023).

Fisika adalah disiplin ilmu yang berdasarkan pengalaman nyata, di mana informasi tentang aspek fisik dunia dan prinsip-prinsip perilakunya dipelajari melalui pengamatan atau observasi (Salsabila, 2021). Sebagai ilmu eksperimental, fisika bergantung pada percobaan yang menghasilkan hukum-hukum dan konsep yang dipelajari melalui praktikum di laboratorium (Maiyena, 2017). Penguasaan konsep fisika sering menjadi tantangan bagi siswa, dengan salah satu hambatan utama adalah kurangnya alat peraga di sekolah. Alat peraga sangat penting dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran karena mampu mengilustrasikan dan mengaplikasikan konsep-konsep yang diajarkan (Qomariyah, 2022). Melalui kegiatan praktikum, siswa tidak hanya terlibat dalam penggunaan alat dan

pencatatan hasil pengamatan, tetapi juga membangun pemahaman mereka melalui proses merumuskan masalah, membuat hipotesis, menganalisis eksperimen, mengumpulkan data, dan menyimpulkan hasil (Huriawati, 2017)[7].

Praktikum mandiri dengan menggunakan peralatan sederhana dan teknologi dapat menjadi sarana efektif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran fisika (Setyaningsih, 2021). Namun, media peraga ayunan bandul sederhana seringkali mengalami kendala dalam penerapan teknologi yang tepat. Hal ini dapat mempengaruhi efektivitas praktikum dan kesesuaian dengan teori yang diajarkan, serta menghambat pemahaman siswa terhadap konsep fisika yang sebenarnya (Moranain, Setyawan, & Putri, 2022). Oleh karena itu, langkah penting yang harus diambil untuk mengatasi masalah ini adalah mengembangkan alat praktikum berbasis sensor yang lebih akurat. Alat ini dirancang untuk mengukur parameter fisika seperti gravitasi dengan sensor hitung frekuensi, sensor cacah, dan kemampuan mengukur waktu tanpa menggunakan stopwatch, serta menyediakan variasi panjang tali (10 cm, 20 cm, 30 cm) untuk mendukung hasil eksperimen yang lebih akurat dan relevan (Setyaningsih, 2021).

METODOLOGI

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian dan pengembangan (Research and Development). Model penelitian dan pengembangan ini bertujuan untuk menciptakan produk yang akan diuji di lapangan, dievaluasi, dan diperbaiki hingga memenuhi kriteria efektivitas, kualitas, atau standar tertentu. Produk yang akan dikembangkan adalah alat praktikum ayunan bandul berbasis sensor.

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah pengembangan atau Research and Development (R&D), atau *Research and Development* (R&D), dengan model yang digunakan adalah model pengembangan *ADDIE* (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) (Dick, Carey, & Carey, 2009; Branch, 2009). Model ini terdiri dari lima tahapan yang sangat terstruktur dan terperinci. Tahapan pertama adalah analisis, yang bertujuan mengidentifikasi akar penyebab kesenjangan pembelajaran di lingkungan sekolah (Sugiyono, 2016). Tahap kedua adalah desain, yang mencakup perancangan model/metode pembelajaran (Molenda, 2003). Tahap ketiga adalah pengembangan, yang merealisasikan rancangan menjadi produk siap pakai (Anglin, 2010). Tahap keempat adalah implementasi, di mana rancangan diterapkan di kelas dan dievaluasi awal. Tahap kelima adalah evaluasi, yang dilakukan dalam dua bentuk, yaitu formatif dan sumatif, untuk memberikan umpan balik dan perbaikan pada model/metode baru (Borg & Gall, 2007).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kebutuhan dilakukan melalui wawancara dengan guru fisika mengenai alat praktikum di sekolah. Ditemukan kendala utama, yaitu kurangnya alat praktikum berbasis teknologi, yang menyebabkan siswa kesulitan memahami konsep ayunan bandul matematis dan kurang tertarik pada materi tersebut. Guru juga menyatakan bahwa laboratorium fisika di sekolah belum memadai, terutama untuk alat ayunan bandul yang tidak lengkap sehingga menghambat pelaksanaan praktikum. Selain itu, teknologi berbasis sensor belum pernah digunakan dalam praktikum, mengingat keterbatasan peralatan. Meski siswa tertarik pada praktikum, kendala seperti waktu yang terbatas, ketidakakuratan data, dan kurangnya alat praktikum menghambat kegiatan belajar.

Analisis kebutuhan menunjukkan bahwa kurangnya alat praktikum berbasis teknologi di sekolah menghambat pemahaman siswa terhadap konsep ayunan bandul matematis, membuat mereka sering lupa dan kurang tertarik pada materi. Meskipun banyak siswa antusias melakukan praktikum fisika, keterbatasan waktu, kurangnya ketelitian dalam pencatatan data, serta minimnya peralatan yang tersedia membuat kegiatan praktikum tidak optimal.

Dari hasil kajian literatur, kegiatan praktikum yang efektif dapat meningkatkan motivasi siswa dan membantu mereka memahami materi secara mendalam, sehingga memberikan ingatan jangka panjang. Penggunaan teknologi, seperti Arduino Uno pada alat praktikum ayunan bandul, diharapkan mampu mengatasi kendala-kendala tersebut dan mendukung proses belajar siswa dengan cara yang lebih akurat dan menarik.

Alat praktikum yang dihasilkan digunakan untuk materi Getaran Harmonis Sederhana. Alat Praktikum ini dilengkapi dengan sensor sebagai komponen pengukur waktu dan periode secara otomatis, LCD, Push button, serta dilengkapi mikrokontroler arduino sebagai penghubung beberapa komponen tersebut.

Rancangan Alat

A. Membuat Desain Rancangan Alat Praktikum Ayunan Bandul yang Akan Dikembangkan

1) Membuat desain bagian atas alat

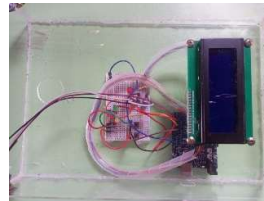
Bagian kotak pada alat praktikum akan berbentuk balok dengan ukuran 30 cm x 20 cm x 10 cm dan terbuat dari papan akrilik. Pada bagian luar ini terdapat komponen-komponen pada sensor serta dilengkapi LCD untuk menampilkan hasil pada sensor. Semua alat elektronik dipasang pada bagian dalam kotak ini. Hal ini bertujuan

untuk meminimalisir kabel agar alat meminimalisir kerusakan komponen. Pada bagian ini akan ada sensor yang terhubung, ketika menyentuh sensor getar, maka waktu akan di mulai. Selain itu, LCD juga menampilkan periode, frekuensi, serta nilai gravitasi. Ketika waktu dan jarak diketahui, maka sistem akan memproses persamaan periode serta panjang tali dan menampilkan nilai percepatan gravitasi di layar LCD.

2) Hasil desain alat praktikum ayunan bandul berbasis sensor

Dari rancangan yang sudah dibuat, terdapat beberapa revisi yang dilakukan. Dibawah ini adalah alat praktikum Ayunan Bandul yang telah dihasilkan:

a. Bagian kotak pada alat praktikum

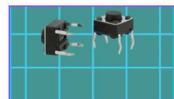


Gambar 1. Kotak Penyimpanan Arduino Uno

Bagian ini adalah komponen paling krusial dari alat praktikum ayunan bandul karena di bagian bawah terdapat Arduino yang berfungsi sebagai penghubung antara sensor-sensor yang digunakan. Selain itu, Arduino juga berperan dalam menghitung periode, waktu, dan nilai percepatan gravitasi secara otomatis, sehingga hasil perhitungan tersebut dapat langsung ditampilkan di layar.

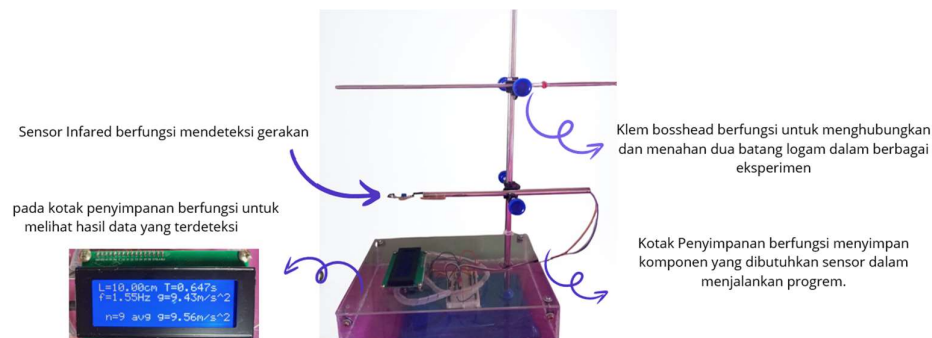
b. Push Button

Bagian dari kotak akrilik berukuran 9 x 3 cm, dengan dua tombol start/reset dipasang secara horizontal di bagian atas untuk kemudahan penggunaan. Tombol pertama digunakan untuk merestart data, tombol kedua menambah panjang tali (L) sebesar 0,1 cm per tekan, dan tombol ketiga mengurangi panjang tali (L) sebesar 0,1 cm per tekan.



Gambar 2. Push Button

c. Statif Klem penghubung bagian atas dan bawah



Gambar 3. Keseluruhan Rangkaian Alat Praktikum Ayunan Bandul Berbasis Sensor

Dua klem digunakan untuk menghubungkan tiang statif dengan ayunan bandul dan sensor, menjaga agar keduanya tetap stabil dan tidak bergerak. Klem memastikan posisi ayunan bandul tetap tepat dan sensor tidak bergeser, sehingga hasil pengukuran tetap akurat. Sementara itu, dua besi memberikan dukungan tambahan, membuat sambungan lebih kuat dan menjaga kestabilan sistem secara keseluruhan.

3) Hasil Uji Coba Alat Praktikum Ayunan Bandul Berbasis sensor

a. Uji coba alat praktikum di Lt 1 Gedung Hasyim

Percobaan pada alat dilakukan secara manual atau konvensional dan uji coba dilakukan dengan menggunakan sensor untuk melihat hasil perbedaan praktikum dengan cara konvensional dan praktikum menggunakan sensor infrared. Berikut Hasil Praktikum Ayunan Bandul secara manual seperti Gambar 3.

Tabel 1: Hasil Pengujian Sistem secara Keseluruhan dengan Pola Manual

Percobaan 1:					
Jumlah Osilasi (n)= 10 Sudut simpangan = 10°					
No.	L (cm)	t (waktu)	T	T ²	Gravitasi
1.	10	6.66	0.66	0.43	9.06 m/s ²
2.	10	6.37	0.63	0.39	9.75 m/s ²
3.	10	6.28	0.62	0.38	9.8 m/s ²

Percobaan 2:					
Jumlah Osilasi (n)= 10 Sudut simpangan = 10°					
No.	L (cm)	t (waktu)	T	T ²	Gravitasi
1.	15	7.79	0.77	0.59	9.74 m/s ²
2.	15	7.78	0.77	0.59	9.76 m/s ²
3.	15	7.77	0.77	0.59	9.8 m/s ²

Percobaan 3:					
Jumlah Osilasi (n)= 10 Sudut simpangan = 10°					
No.	L (cm)	t (waktu)	T	T ²	Gravitasi
1.	20	8.65	0.86	0.43	9.8 m/s ²
2.	20	8.22	0.82	0.39	9.6 m/s ²
3.	20	8.4	0.84	0.36	9.3 m/s ²

Tabel 2: Hasil Pengujian Sistem secara Keseluruhan dengan Pola Digital

Percobaan 1:					
Jumlah Osilasi (n)= 10 Sudut simpangan = 10°					
No.	L (cm)	t (waktu)	T	T ²	Gravitasi
1.	10	7.86	0.78	0.60	9.56 m/s ²
2.	10	7.94	0.79	0.62	9.38 m/s ²
3.	10	7.93	0.79	0.62	9.40 m/s ²

Percobaan 2:					
Jumlah Osilasi (n)= 10 Sudut simpangan = 10°					
No.	L (cm)	t (waktu)	T	T ²	Gravitasi
1.	15	7.83	0.78	0.60	9.72 m/s ²
2.	15	7.85	0.78	0.60	9.72 m/s ²
3.	15	7.86	0.78	0.60	9.72 /s ²

Percobaan 3:					
Jumlah Osilasi (n)= 10 Sudut simpangan = 10°					
No.	L (cm)	t (waktu)	T	T ²	Gravitasi
1.	20	8.90	0.89	0.79	9.87 m/s ²
2.	20	8.92	0.89	0.79	9.86 m/s ²
3.	20	8.90	0.89	0.79	9.85 m/s ²

4) Hasil Penyebaran Angket

Tabel 3. Angket Persepsi Alat dari Produk yang Diujikan

No.	Indikator	
1.	Alat ini memberikan pengalaman belajar yang menarik.	
2.	Alat ini sesuai dengan konsep getaran harmonis yang dipelajari di kelas	
3.	Alat ini membantu memahami pelajaran fisika tentang getaran.	
4.	Alat ini menunjukkan fenomena yang sedang dipelajari dengan jelas	
5.	Alat praktikum ini mudah digunakan dalam pembelajaran.	
6.	Data yang ditampilkan sangat jelas secara digital.	
7.	Ukuran layar alat ini pas untuk membaca data dengan mudah.	
8.	Alat ini mengukur frekuensi, periode, dan gravitasi	
9.	Petunjuk penggunaan alat ini mudah dipahami.	
10.	Perintah-perintah yang ditampilkan pada buku panduan sangat jelas.	
11.	Panduan penggunaan alat ini mudah diikuti	
12.	Alat ini melatih keterampilan pengamatan dalam praktikum	
13.	Alat ini aman digunakan tanpa risiko cedera	
14.	Instruksi di buku panduan praktikum sangat jelas.	
15.	Data yang ditampilkan sangat mudah dibaca.	
16.	Alat praktikum ini membuat pembelajaran fisika lebih efektif.	
17.	Alat ini membantu lebih aktif selama praktikum.	
18.	Alat ini mendukung kerja sama saat praktikum.	
19.	Alat praktikum memiliki visual yang menarik	
20.	Alat ini meningkatkan pemahaman terhadap materi fisika.	
21.	Alat praktikum ini membuat praktikum menjadi menyenangkan	

Untuk mengisi jawaban pernyataan berikut, anda cukup memilih salah satu skor penilaian dengan skala sebagai berikut :

4 = Sangat Setuju

3 = Setuju

2 = Tidak Setuju

1 = Sangat Tidak Setuju

Interpretasi data akan dihitung berdasarkan persentase skor yang diperoleh pada masing-masing aspek menggunakan persamaan (Sugiyono, 2013):

Tabel 4. Skor Penilaian Angket

KATEGORI	SKOR
Sangat tidak setuju (STS)	1
Tidak Setuju (ST)	2
Setuju (S)	3
Sangat Setuju (SS)	4

$$\% \text{skor} (s) = \sum \frac{\text{skor perolehan}}{\text{skor maksimum}} \times 100\%$$

Skor yang diperoleh selanjutnya diinterpretasikan berdasarkan table:

Tabel 5. Interpretasi Penilaian Kelayakan

Presentase Skor	Keterangan
$n \leq 25\%$	Tidak Layak
$25\% < n \leq 50\%$	Kurang Layak
$50\% < n \leq 75\%$	Layak
$75\% < n \leq 100\%$	Sangat Layak

Uji terbatas dilakukan dengan mengimplementasikan penggunaan alat praktikum ke 60 siswa kelas XI di Sekolah Negeri Jakarta. Persepsi siswa terhadap penggunaan alat praktikum dilakukan dengan cara menyebarkan angket persepsi yang sudah menggunakan alat praktikum yang dikembangkan. Berikut hasil penyebaran angket:

Tabel 6. Hasil Penyebaran Angket

No.	Aspek	Pertanyaan yang terkait	Perhitungan Presentase	Presentase	Interpretensi
1.	Pemahaman Konsep	2	95.1%	98.8%	Sangat Layak
		3	100%		
		4	100%		
		20	100%		
2.	Kemudahan	5	93.3%	95.1%	Sangat Layak
		7	93.3%		
		9	96.7%		
		10	96.7%		
		11	96.7%		
		14	95%		
3.	Interaksi	17	98.3%	97.8%	Sangat Layak
		18	96.7%		
		12	98.3%		
4.	Kepraktisan	1	98.4%	97.66%	Sangat Layak
		13	93.3%		
		16	98.3%		
		19	98.3%		
		21	100%		
5.	Hasil Pengukuran	6	98.8%	99.6%	Sangat Layak
		8	100%		
		15	100%		
Rata-rata			97.83%	Sangat Layak	

Hasil uji coba dengan peserta didik menunjukkan bahwa alat praktikum ini sangat efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa tentang materi getaran harmonis. Data menunjukkan bahwa aspek pemahaman konsep mencapai 98.8%, kemudahan penggunaan 95.1%, interaksi 97.8%, kepraktisan 97.66%, dan ketepatan hasil pengukuran 99.6%, semuanya dikategorikan sebagai "Sangat Layak". Rata-rata keseluruhan 97.83% mengindikasikan bahwa alat ini sangat bermanfaat dan layak digunakan dalam pembelajaran fisika. Sebagian besar siswa merasakan alat ini mudah digunakan, dengan panduan yang jelas, dan sangat mendukung pemahaman konsep yang dipelajari. Selain itu, mereka menikmati pengalaman belajar yang lebih menarik dan interaktif, serta merasa terbantu dalam melakukan pengukuran yang akurat. Secara keseluruhan, alat praktikum ini dinilai sangat mendukung pembelajaran dan pemahaman siswa dalam konsep getaran harmonis.

Hubungan Percepatan Gravitasi Bumi Dengan Ayunan Bandul

Percepatan gravitasi bumi (g) memiliki hubungan langsung dengan periode ayunan bandul. Hubungan ini dapat dijelaskan melalui rumus fisika untuk periode ayunan sederhana (T):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Di mana:

T = periode ayunan (waktu yang diperlukan untuk satu ayunan lengkap)

L = adalah panjang tali atau batang pendulum

g = percepatan gravitasi

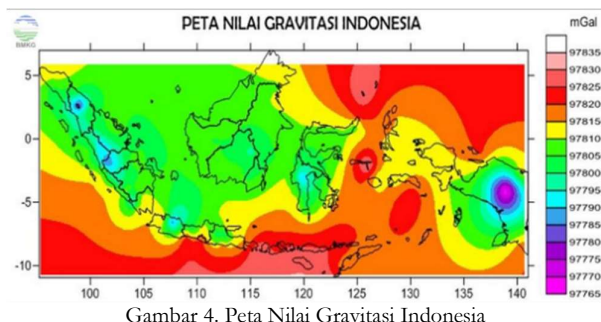
Menurut rumus tersebut, periode ayunan bandul bergantung pada panjang tali atau batang dan percepatan gravitasi bumi. Semakin besar nilai percepatan gravitasi, semakin cepat periode ayunan, dan sebaliknya. Jika panjang pendulum tetap, maka nilai g yang lebih besar akan menghasilkan periode yang lebih pendek, dan nilai g yang lebih kecil akan menghasilkan periode yang lebih panjang (Halliday, Resnick, & Walker, 2014)[17].

Fungsi Ayunan Bandul Sederhana

Ayunan bandul sederhana digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan nilai percepatan gravitasi melalui eksperimen. Dalam percobaan ini, sebuah benda kecil dengan massa yang dapat diabaikan digantungkan pada

seutas tali, dan ayunannya diamati (Young & Freedman, 2020)[18]. Panjang tali bandul dan massa bola yang digunakan dalam eksperimen ini mempengaruhi nilai percepatan gravitasi yang dihitung. Penggunaan metode ini membantu memperkuat pemahaman siswa mengenai teori gerak harmonis sederhana (Tipler & Mosca, 2008; Serway & Jewett, 2018)[19].

Jaringan Titik Dasar Gaya Berat BMKG



Gambar 4. Peta Nilai Gravitasi Indonesia
(Sumber: <https://www.bmkg.go.id/geofisika-potensial/nilai-gravitasi-indonesia.bmkg>)

Pengukuran gravitasi yang dilakukan di 142 lokasi Titik Dasar Gaya Berat (Gravitasi) BMKG di seluruh Indonesia menunjukkan bahwa setelah data diproses melalui koreksi pasang surut bumi (Earth Tide Correction) dan drift (apungan), didapatkan nilai gravitasi yang akurat. Nilai-nilai gravitasi ini selanjutnya digunakan untuk menyusun pemetaan, yang hasilnya dapat dilihat pada gambar peta di atas.

Di Jakarta Timur, pengukuran menggunakan sensor menunjukkan percepatan gravitasi sebesar $9,7 \text{ m/s}^2$, sedikit berbeda dari nilai rata-rata global $9,8 \text{ m/s}^2$. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh ketinggian tempat, distribusi massa bumi dan struktur geologi lokal. Pengukuran ini menunjukkan bahwa alat praktikum ayunan bandul berbasis sensor dan Arduino sangat akurat. Teknologi ini membantu memahami dinamika gravitasi lokal dan memberikan pengalaman praktis bagi siswa dalam memahami prinsip fisika.

Perbedaan Antara Alat Ayunan Bandul Sederhana Dengan Pola Pengukuran Manual Dan Digital



Gambar 5. Tampilan LCD pada atas kotak sensor penyimpanan

Pada metode pengambilan dan pemrosesan data. Alat ayunan bandul sederhana dengan pola pengukuran manual mengharuskan pengguna untuk secara langsung mengamati dan mengukur periode ayunan serta melakukan perhitungan secara manual untuk mendapatkan nilai percepatan gravitasi. Sementara itu, alat ayunan bandul sederhana digital menggunakan sensor dan perangkat lunak untuk mengukur periode ayunan dengan akurasi tinggi dan menghitung nilai percepatan gravitasi secara otomatis. Pendekatan digital ini mengurangi ketergantungan pada keahlian pengguna dalam melakukan pengukuran manual dan memungkinkan untuk analisis data yang lebih cepat dan presisi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian "Alat Percobaan Ayunan Pendulum Sederhana Berbasis Arduino" membuktikan bahwa alat ini sangat efektif dalam mendukung pemahaman siswa tentang konsep getaran harmonis dan percepatan gravitasi. Dengan sistem kontrol menggunakan Arduino Uno dan tampilan hasil pada layar LCD, alat ini mampu melakukan pengukuran percepatan gravitasi secara akurat dan cepat tanpa memerlukan perhitungan manual. Berdasarkan data uji coba, alat ini memperoleh nilai kelayakan rata-rata 97.83% dengan kategori "Sangat Layak"

pada aspek pemahaman konsep, kemudahan penggunaan, interaksi, kepraktisan, dan ketepatan hasil pengukuran. Sebagian besar siswa menyatakan bahwa alat ini mudah digunakan, menarik, dan membantu pemahaman konsep melalui pengalaman belajar yang lebih interaktif. Alat ini sangat layak diterapkan dalam pembelajaran fisika untuk meningkatkan efektivitas praktikum.

REFERENSI

- Anglin, G. J. (2010). *Instructional Technology: Past, Present, and Future*. Santa Barbara: Libraries Unlimited.
- Arifin, Z. (2016). *Penelitian dan Pengembangan Pendidikan: Metode dan Aplikasinya*. Bandung: Alfabeta.
- Borg, W. R., & Gall, M. D. (2007). *Educational Research: An PENDAHULUAN*. Boston: Pearson.
- Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. New York: Springer Science+Business Media.
- Dick, W., Carey, L., & Carey, J. O. (2009). *The Systematic Design of Instruction*. Upper Saddle River: Pearson.
- Huriawati, D. (2017). *Proses Praktikum Fisika untuk Siswa*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Maiyena, M. (2017). *Metode Praktikum Fisika di Sekolah*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Molenda, M. (2003). *In Search of the Elusive ADDIE Model*. Performance Improvement, 42(5), 34-36.
- Moranain, L., Setyawan, A., & Putri, D. (2022). *Kendala Teknologi pada Media Ayunan Bandul dalam Praktikum Fisika*. Semarang: Diponegoro University Press.
- Pursitasari, A. (2023). *Pendidikan Bermutu dan Pembangunan SDM*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Qomariyah, R. (2022). *Efektivitas Penggunaan Alat Peraga dalam Pembelajaran Fisika*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Salsabila, N. (2021). *Pengantar Fisika untuk Pendidikan*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Setyaningsih, A. (2021). *Pengembangan Praktikum Mandiri dalam Pembelajaran Fisika*. Malang: Universitas Negeri Malang Press.
- Sudipa, I. G. I. (2023). *Sustainable Development Goals (SDGs) dan Implementasinya dalam Pendidikan*. Denpasar: Ganesha Press.
- Sugiyono. (2016). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Syafril, M., & Zen, H. (2017). *Pendidikan Nasional: Landasan dan Implementasi*. Jakarta: Graha Ilmu.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). *Physics for Scientists and Engineers*. New York: W. H. Freeman.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2020). *University Physics with Modern Physics*. Boston: Pearson.