

Pengaruh Penggunaan Kotak Kedap Udara pada Alat Pendulum Sederhana terhadap Kesesuaian dengan Teori Pendulum sebagai Media Praktikum Fisika

Syifauly Insani Zaen¹⁾, Wahyu Tri Nur Aprilia^{1),*}, Nurul Arifa¹⁾, Alike Nazwa Maulida¹⁾,
Atin Nuryadin¹⁾, Muliati Syam¹⁾

¹⁾Pendidikan Fisika, Universitas Mulawarman

*Corresponding Author: wahyutrinerapr1@gmail.com

ABSTRAK

Getaran harmonik sederhana (GHS) merupakan gerak bolak-balik pada suatu benda secara periodik yang banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, salah satunya melalui sistem pendulum sederhana. Permasalahan sarana dan prasarana pembelajaran dalam praktikum adalah keterbatasan alat serta pengaruh hambatan udara yang menyebabkan hasil pengukuran kurang mendekati teori. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh panjang tali dan massa bandul terhadap periode dan frekuensi ayunan pendulum sederhana dalam kondisi hambatan udara dengan menggunakan kotak tertutup. Eksperimen dilakukan di laboratorium fisika dengan menggunakan metode eksperimen, yaitu memvariasikan massa bandul dan panjang tali, kemudian mengukur waktu ayunan untuk menentukan periode dan frekuensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi massa bandul tidak memengaruhi periode maupun frekuensi ayunan pendulum, sedangkan variasi panjang tali berpengaruh signifikan terhadap karakteristik ayunan berdasarkan kecenderungan hasil eksperimen yang diperoleh. Semakin panjang tali pendulum, maka periode ayunan semakin besar dan frekuensi semakin kecil. Hasil eksperimen ini sesuai dengan teori pendulum sederhana, serta menunjukkan bahwa penggunaan kotak kedap udara mampu meminimalkan pengaruh hambatan udara sehingga hasil pengukuran menjadi lebih stabil dan konstan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif media praktikum sederhana yang efektif dalam pembelajaran fisika.

Kata Kunci: Pendulum Sederhana; Frekuensi Getaran; Periode; Panjang Tali; Massa Beban

Received: 21 Dec 2025; Revised: 22 Jan 2026; Accepted: 30 Jan 2026; Available Online: 3 Feb 2026

This is an open access article under the CC - BY license.



PENDAHULUAN

Pembelajaran fisika di sekolah menengah masih menghadapi berbagai permasalahan, khususnya dalam pelaksanaan kegiatan praktikum. Keterbatasan sarana dan prasarana laboratorium menyebabkan pembelajaran fisika sering berfokus pada penyampaian konsep secara teoritis, sehingga siswa kurang memperoleh pengalaman eksperimen secara langsung (Wahid et al., 2019). Padahal, konsep-konsep fisika seperti getaran dan osilasi akan lebih mudah dipahami apabila dipelajari melalui pengamatan dan pengukuran secara nyata dalam kegiatan praktikum (Umam et al., 2020). Kondisi ini menunjukkan perlunya pengembangan alat praktikum alternatif yang sederhana, terjangkau, dan tetap mampu merepresentasikan konsep fisika secara akurat.

Gerak periodik juga disebut gerak osilasi, benda akan berosilasi jika diberikan gaya atau torsi untuk menjauhi titik setimbangnya, ketika berosilasi benda tersebut akan bergerak bolak balik melewati titik kesetimbangannya dan gaya pemulih yang bekerja akan cenderung mengembalikan sistem pada keadaan kesetimbangannya (Yanti et al., 2020). Salah satu materi fisika yang berkaitan erat dengan kegiatan praktikum adalah gerak harmonik sederhana, yang dapat dimodelkan melalui sistem pendulum sederhana. Gerak harmonik sederhana melibatkan berbagai besaran seperti, simpangan, periode, amplitudo, dan frekuensi (Pangesti et al., 2023). Pendulum sederhana telah lama digunakan sebagai media pembelajaran untuk mempelajari hubungan antara periode, frekuensi, dan karakteristik osilasi suatu sistem (Abdullah et al., 2021).

Meskipun demikian, pelaksanaan praktikum pendulum sederhana di sekolah masih memiliki keterbatasan. Salah satu faktor yang memengaruhi ketelitian hasil pengukuran adalah hambatan udara, yang dapat menyebabkan ayunan pendulum tidak stabil dan periode menyimpang dari nilai teoritis (Listiaji et al.,

2020). Selain itu, Gui (2023) menjelaskan bahwa hambatan udara yang bersifat nonlinier dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap periode ayunan pendulum, sehingga hasil eksperimen sering kali kurang konsisten apabila pengaruh lingkungan tidak dikendalikan dengan baik.

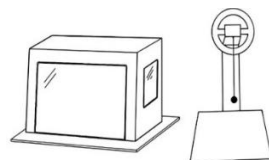
Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini menghadirkan inovasi berupa pengembangan alat pendulum sederhana yang dilengkapi dengan kotak tertutup untuk meminimalkan pengaruh hambatan udara. Inovasi ini merupakan pengembangan dari pendulum sederhana konvensional yang umumnya dilakukan di ruang terbuka. Dengan adanya kotak tertutup, diharapkan ayunan pendulum menjadi lebih stabil sehingga hasil pengukuran periode dan frekuensi dapat lebih mendekati nilai teori (Azmi et al., 2025). Selain itu, alat ini dirancang tetap sederhana dan mudah dibuat sehingga berpotensi untuk diimplementasikan sebagai media praktikum fisika di sekolah.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh panjang tali dan massa bandul terhadap periode serta frekuensi ayunan pendulum sederhana dalam kondisi hambatan udara yang diminimalkan, serta mencocokkan hasil pengukuran eksperimen dengan teori pendulum sederhana. Menurut Pacala & Mendaño (2025) menyatakan bahwa penggunaan pendulum sederhana dalam kegiatan praktikum memberikan kontribusi edukatif yang signifikan, karena memungkinkan siswa mempelajari konsep-konsep dasar fisika, khususnya percepatan gravitasi, secara langsung melalui praktikum. Selain itu, karakteristik alat yang sederhana, ekonomis, dan mudah dirancang menjadikan pendulum sederhana sesuai untuk diterapkan sebagai media pembelajaran fisika di tingkat sekolah menengah.

METODE

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode eksperimen. Penelitian dilakukan menggunakan seperangkat alat pendulum sederhana yang dimodifikasi dengan kotak tertutup (kotak kedap udara) untuk mengurangi pengaruh hambatan udara selama ayunan berlangsung. Alat yang digunakan meliputi penggaris bermerek *Butterfly* dengan ketelitian 1 mm untuk mengukur panjang tali, stopwatch digital yang dioperasikan melalui *smartphone* untuk mengukur waktu ayunan, neraca Ohaus tipe 311 untuk mengukur massa bandul, statif sebagai penyangga pendulum yang dibuat secara mandiri dari bahan kayu, serta busur derajat merek *Butterfly* untuk mengatur sudut simpangan awal. Bahan yang digunakan berupa tali bangunan sebagai tali pendulum dan bandul berupa beban pancing dengan variasi massa.

Desain alat pendulum sederhana dirancang dengan bandul yang digantung pada tali ringan dan dipasang pada statif buatan dari kayu, kemudian ditempatkan di dalam kotak tertutup (kotak kedap udara) yang dibuat dari bahan kardus. Kotak ini berfungsi untuk meminimalkan pengaruh hambatan udara dan gangguan lingkungan dari luar sistem. Bandul digantung sedemikian rupa sehingga dapat berayun bebas tanpa menyentuh dinding kotak dan busur pada statif, sehingga gesekan mekanis dapat diminimalkan. Kotak kedap udara tersebut dilengkapi dengan tirai dari bahan mika plastik yang dapat dibuka dan ditutup untuk memudahkan pengaturan bandul dan proses pengukuran tanpa banyak mengganggu kondisi udara di dalam kotak. Desain alat pendulum sederhana dengan kotak tertutup ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sketsa Alat pendulum sederhana dengan kotak tertutup untuk mengurangi pengaruh hambatan udara

Eksperimen ini dilakukan pada laboratorium fisika untuk menentukan besaran yang ada seperti, simpangan, periode, amplitudo, dan frekuensi. Menurut Giancoli (2014), untuk simpangan sudut kecil, gerak pendulum sederhana mendekati gerak harmonik sederhana sehingga hasil pengukuran periode dan frekuensinya dapat diselaraskan dengan persamaan yang dapat dilihat pada persamaan 1 dan 2.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (2)$$

Secara umum, prosedur penelitian dilakukan dengan mengukur waktu ayunan pendulum untuk sejumlah ayunan tertentu. Pengukuran dilakukan dengan memvariasikan panjang tali dan massa bandul secara terpisah. Panjang tali diukur menggunakan penggaris, massa bandul ditentukan dengan neraca ohaus 311, dan waktu ayunan diukur menggunakan stopwatch. Data waktu ayunan selanjutnya digunakan untuk menentukan periode dan frekuensi ayunan, yang kemudian dicocokkan dengan teori pendulum sederhana.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat yang dikembangkan dalam penelitian ini berupa pendulum sederhana yang dirancang menggunakan bahan-bahan sederhana dan mudah diperoleh. Penyangga alat dibuat dari kayu bekas yang kuat dan stabil, dilengkapi dengan busur derajat sebagai petunjuk sudut simpangan awal pendulum. Tali pendulum menggunakan tali bangunan yang ringan dan tidak mudah meregang, sedangkan bebannya berasal dari beban pancing yang praktis dan ekonomis. Untuk mengurangi pengaruh hambatan udara, alat ini dilengkapi kotak penutup dari kardus yang kanan kirinya terdapat jendela yang ditutupi dengan mika transparan, sehingga gerak ayunan tetap dapat diamati dengan jelas. Pada sisi depan terdapat mika yang setiap sisinya dilengkapi velcro, sehingga penutup dapat dibuka dan ditutup dengan mudah, rapi, dan tidak merusak tampilan alat. Dengan desain tersebut, alat pendulum sederhana ini sangat efisien dan fleksibel, dapat dibuat di mana saja karena bahan dan alatnya mudah ditemukan terjangkau serta ekonomis, serta memiliki cara penggunaan yang sederhana sehingga cocok digunakan sebagai media praktikum fisika yang efektif.



Gambar 2. Alat pendulum sederhana dengan kotak tertutup untuk mengurangi pengaruh hambatan udara.

Keunggulan alat pendulum sederhana yang dikembangkan dalam penelitian ini terletak pada penggunaan kotak tertutup yang mampu meminimalkan pengaruh hambatan udara sehingga ayunan pendulum menjadi lebih stabil dan konsisten. Selain itu, alat ini dirancang menggunakan komponen yang sederhana, mudah diperoleh, dan berbiaya rendah, sehingga berpotensi untuk diimplementasikan sebagai media praktikum fisika di sekolah menengah. Desain alat yang sederhana juga memudahkan peserta didik dalam melakukan pengukuran serta memahami konsep gerak harmonik sederhana secara lebih akurat.

Tabel 1. Perbandingan penelitian terdahulu berdasarkan kekurangan alat ayunan/pendulum dan solusi yang ditawarkan.

Referensi	Kekurangan	Solusi
(Angol et al., 2024)	Ayunan pendulum dipengaruhi oleh hambatan udara yang tidak dapat dikendalikan selama perekaman	Pendulum ditempatkan di dalam boks kedap udara agar ayunan lebih stabil dan mudah diamati secara langsung.
(Sukmak & Musik, 2021)	Banyaknya komponen elektronik berpotensi menimbulkan kesalahan teknis dan menyulitkan penerapan di sekolah dengan fasilitas terbatas.	Alat dikembangkan dengan konsep sederhana dan lingkungan eksperimen dikondisikan agar hasil pengukuran tetap stabil dan akurat.
(Syahrul et al., 2013)	Alat menggunakan sistem elektronik dan mikrokontroler yang relatif kompleks serta membutuhkan biaya dan perawatan lebih.	Alat dirancang lebih sederhana dengan memanfaatkan komponen dasar yang mudah dibuat di laboratorium sekolah.

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi panjang tali dan massa bandul terhadap periode serta frekuensi ayunan pendulum sederhana dalam kondisi hambatan udara yang diminimalkan. Penelitian ini memiliki dua tujuan utama. Tujuan pertama, yaitu menganalisis karakteristik ayunan pendulum sederhana melalui pengukuran periode dan frekuensi pada variasi panjang tali dan massa bandul pada pendulum berbasis kotak kedap udara. Berdasarkan hasil pengukuran eksperimen, diperoleh bahwa variasi panjang tali memberikan pengaruh terhadap periode ayunan, sedangkan variasi massa bandul tidak menunjukkan pengaruh yang berarti terhadap periode dan frekuensi ayunan selama sudut simpangan dijaga. Kondisi hambatan udara yang diminimalkan membantu menghasilkan ayunan yang lebih stabil sehingga data yang diperoleh lebih mendekati kondisi ideal pendulum sederhana. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan lingkungan eksperimen yang tepat berperan penting dalam memperoleh hasil pengukuran yang akurat pada praktikum fisika.

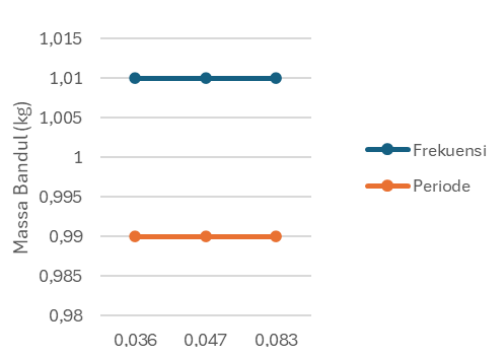
Tujuan kedua, yaitu membandingkan hasil pengukuran eksperimen dengan teori pendulum sederhana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara periode ayunan dengan panjang tali sesuai dengan persamaan teori pendulum sederhana, sementara periode ayunan tidak dipengaruhi oleh massa bandul. Kesesuaian antara hasil eksperimen dan teori ini menunjukkan bahwa sistem pendulum sederhana dengan hambatan udara yang diminimalkan mampu merepresentasikan konsep gerak harmonik sederhana secara baik. Dengan demikian, kedua tujuan penelitian telah tercapai, baik dalam menganalisis pengaruh variabel fisis terhadap karakteristik ayunan pendulum maupun dalam menilai kesesuaian hasil eksperimen dengan teori yang berlaku.

Data yang diperoleh dari pengukuran waktu ayunan pada berbagai variasi perlakuan menunjukkan pola yang konsisten dan sesuai dengan tujuan percobaan. Percobaan diperoleh dengan mengukur waktu yang dibutuhkan pendulum untuk melakukan 20 ayunan pada setiap variasi massa bandul dengan panjang tali tetap 0,25 m dan sudut simpangan awal 15° . Seluruh data hasil pengukuran tersebut dirangkum dalam tabel 2. Berdasarkan data pada Tabel 2, terlihat bahwa peningkatan massa bandul dari 0,036 kg menjadi 0,083 kg diikuti oleh peningkatan waktu ayunan dari 20,51 s menjadi 21,17 s. Namun, perubahan waktu tersebut relatif kecil dan tidak menunjukkan kecenderungan yang signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa variasi massa bandul tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap periode maupun frekuensi ayunan pendulum sederhana. Rincian data hasil pengukuran waktu ayunan pendulum untuk variasi massa bandul pada panjang tali 0,25 m dan sudut simpangan awal 15° disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data dan pengamatan percobaan pengaruh variasi massa terhadap waktu 20 ayunan dengan panjang tali 0,25 m dan sudut simpangan 15° .

Massa (kg)	t untuk 20 ayunan (s)
0,036	20,51
0,047	20,85
0,083	21,17

Kecenderungan tersebut diperkuat oleh Gambar 3 yang menunjukkan bahwa nilai periode dan frekuensi ayunan relatif konstan meskipun massa bandul mengalami perubahan. Dengan demikian, hasil percobaan telah menjawab tujuan kedua penelitian, yaitu membuktikan bahwa massa bandul tidak memengaruhi periode dan frekuensi ayunan secara signifikan.



Gambar 3. Grafik Hubungan Massa terhadap Periode dan Frekuensi

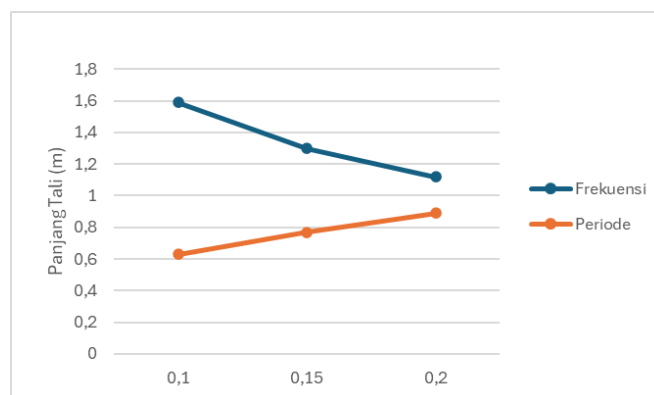
Hasil percobaan ini sejalan dengan studi eksperimen pendulum yang menunjukkan bahwa massa bandul tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai periode, sedangkan hubungan antara panjang tali dan periode mengikuti karakteristik gerak harmonik sederhana (Aisiyah et al., 2022). Temuan ini juga konsisten dengan penelitian lain yang melaporkan bahwa periode ayunan pendulum sederhana tidak bergantung pada massa bandul, melainkan ditentukan oleh panjang tali dan percepatan gravitasi (Gani, 2021; Syahrul & Adler, 2013)

Pengujian pengaruh panjang tali terhadap periode dan frekuensi ayunan dilakukan dengan mempertahankan massa bandul tetap sebesar 0,047 kg dan sudut simpangan awal 15° , sementara panjang tali divariasikan. Pengukuran waktu 20 ayunan dilakukan untuk setiap variasi panjang tali. Berdasarkan data pada Tabel 3, dapat diamati bahwa peningkatan panjang tali diikuti oleh peningkatan waktu yang dibutuhkan pendulum untuk melakukan 20 ayunan. Waktu ayunan meningkat secara bertahap dari 15,15 s pada panjang tali 0,10 m menjadi 19,21 s pada panjang tali 0,20 m. Pola ini menunjukkan bahwa panjang tali berpengaruh secara signifikan terhadap periode ayunan pendulum sederhana. Adapun data hasil pengukuran waktu ayunan pendulum untuk setiap variasi panjang tali pada massa bandul 0,047 kg dan sudut simpangan awal 15° disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data dan pengamatan percobaan pengaruh panjang tali terhadap waktu 20 ayunan dengan massa beban 0,047 dan sudut simpangan 15° .

Panjang Tali (m)	t untuk 20 ayunan (s)
0,10	15,15
0,15	17,14
0,20	19,21

Hubungan tersebut diperjelas melalui Gambar 4 yang menunjukkan bahwa bertambahnya panjang tali menyebabkan periode ayunan meningkat, sementara frekuensi ayunan menurun. Dengan demikian, tujuan kedua penelitian telah tercapai, yaitu menunjukkan bahwa panjang tali merupakan faktor utama yang memengaruhi karakteristik ayunan pendulum



Gambar 4. Grafik Hubungan Panjang Tali terhadap Periode dan Frekuensi

Hasil ini konsisten dengan penelitian eksperimen pendulum yang menunjukkan adanya hubungan linier antara kuadrat periode dan panjang tali pendulum, sebagaimana dilaporkan dalam studi berbasis pengukuran otomatis dan analisis data eksperimental (Sukmak & Musik, 2021). Selain itu, penelitian lain yang menggunakan metode video tracking pada ayunan pendulum sederhana juga menunjukkan konsistensi hasil dalam menganalisis karakteristik ayunan pendulum berdasarkan hubungan periode dan panjang tali (Angol et al., 2024).

Data hasil eksperimen pengukuran periode dan frekuensi ayunan pendulum sederhana disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Pada tabel 2 menunjukkan bahwa variasi massa bandul tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap periode dan frekuensi ayunan pendulum sederhana, sehingga perubahan massa tidak mengubah karakteristik ayunan secara signifikan. Sedangkan, pada Tabel 3 menunjukkan bahwa variasi panjang tali memengaruhi karakteristik ayunan pendulum, sehingga panjang tali menyebabkan periode ayunan bertambah dan frekuensi ayunan berkurang. Hubungan tersebut sesuai dengan karakteristik gerak harmonik sederhana, yang menunjukkan kesesuaian antara hasil eksperimen ayunan pendulum sederhana dengan teori yang berlaku serta didukung oleh hasil penelitian yang telah dilakukan.

Alat pendulum sederhana yang dikembangkan dalam penelitian ini telah melalui tahap uji dan penilaian oleh para ahli, baik dari sisi desain alat maupun kesesuaiannya dengan konsep fisika yang mendasari. Proses validasi oleh para ahli bertujuan untuk memastikan bahwa alat yang dibuat layak digunakan sebagai media praktikum dan mampu merepresentasikan konsep pendulum sederhana secara tepat. Berdasarkan hasil penilaian tersebut, para ahli memberikan beberapa masukan terkait aspek teknis alat. Salah satu kekurangan yang ditemukan pada tahap awal adalah posisi tali bandul yang terlalu menempel pada busur penunjuk sudut, sehingga selama ayunan terjadi gaya gesekan tambahan yang memengaruhi kestabilan gerak pendulum. Para ahli menekankan bahwa dalam teori pendulum sederhana, pengaruh gesekan harus diminimalkan agar gerak ayunan mendekati kondisi ideal. Menindaklanjuti masukan tersebut, kami melakukan perbaikan pada desain alat dengan mengatur ulang posisi tali dan busur sehingga tidak lagi bersentuhan selama ayunan berlangsung. Setelah dilakukan perbaikan, alat menunjukkan gerak ayunan yang lebih bebas dan stabil, sehingga telah sesuai dengan rekomendasi para ahli dan memenuhi kriteria pendulum sederhana ideal sebagaimana dijelaskan dalam teori gerak harmonik sederhana.

SIMPULAN

Alat pendulum sederhana berbasis kotak kedap udara berhasil dibuat dan dapat digunakan dengan baik menggunakan bahan-bahan yang sederhana, ekonomis, dan praktis sehingga mudah dibuat serta diterapkan di sekolah. Inovasi kotak kedap udara mampu meminimalkan hambatan udara sehingga ayunan lebih stabil dan sesuai dengan teori. Dengan demikian alat yang dibuat telah memenuhi tujuan penelitian serta sesuai dengan teori pendulum sederhana. Dari hasil percobaan ini, dapat disimpulkan bahwa panjang tali dan massa bandul memberikan pengaruh yang berbeda terhadap karakteristik ayunan pendulum sederhana. Variasi massa bandul tidak memengaruhi periode maupun frekuensi ayunan, yang ditunjukkan oleh nilai periode dan frekuensi yang relatif konstan pada setiap variasi massa. Sebaliknya, panjang tali memiliki pengaruh yang signifikan terhadap periode dan frekuensi pendulum, sehingga semakin panjang tali maka periode ayunan semakin besar dan frekuensi getaran semakin kecil. Hubungan ini menunjukkan bahwa panjang tali berbanding lurus dengan periode dan berbanding terbalik dengan frekuensi, sehingga hasil percobaan yang diperoleh sesuai dengan teori pendulum sederhana dalam kondisi hambatan udara yang diminimalkan. Selain itu, penggunaan inovasi kotak kedap udara dalam percobaan terbukti mampu meminimalkan pengaruh hambatan udara terhadap gerak pendulum, sehingga ayunan menjadi lebih stabil dan konstan. Dengan demikian, inovasi kotak kedap udara efektif menjawab tujuan pada percobaan. Implikasi penelitian ini menunjukkan bahwa alat pendulum sederhana berbasis kotak kedap udara dapat digunakan sebagai media praktikum yang efektif untuk membantu guru menjelaskan konsep pendulum sederhana secara lebih akurat.

Daftar Pustaka

- Abdullah, M., Amin, A. A., Iqbal, S., & Mahmood-ul-Hasan, K. (2021). Swing Up and Stabilization Control of Rotary Inverted Pendulum Based on Energy Balance, Fuzzy Logic, and LQR Controllers. *Measurement and Control (United Kingdom)*, 54(9-10), 1356-1370. <https://doi.org/10.1177/002029402111035406>
- Aisiyah, M. C., Annas, M. A., Ningrum, I. E., Widodo, A., & Cahyani, H. D. (2022). Studi Eksperimen Bandul Dalam Menentukan Percepatan Gravitasi Bumi dan Memahami Konsep Gerak Harmonik Sederhana. *TSAQOFAH: Jurnal Penelitian Guru Indonesia*, 2, 393-400. <https://doi.org/https://doi.org/10.58578/tsaqofah.v2i3.517>
- Angol, Y., Murniaty Elot, Y., Alus, G., Barry Astro, R., & Nasar, A. (2024). Video Tracking Based Gravity Acceleration Analysis on Pendulum Swing. *Journal of Learning and Technology in Physics*, 3. <https://doi.org/https://doi.org/10.24114/jltp.v3i2.57075>
- Azmi, Z. V., Haura Zhafira Hidayat, D., Subhaan Ambardhani, M., Farrel Al Falubi Hidayat, A., Ahmad, A., & Febrilianto, Y. (2025). Determining Gravitational Acceleration with the Mathematical Pendulum Swing Method. *Informatika Dan Sains*, 15(01), 2025. <https://doi.org/10.54209/infosains.v15i01>
- Gani, A. R. F. G. (2021). Hubungan Antara Variasi Sudut Dengan Nilai Periode Pada Bandul Menggunakan Mikrokontroler Arduino. *STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi)*, 6 (2).

- Giancoli, D. C. . (2014). *Physics: Principles with Applications*. Pearson Prentice Hall.
- Gui, J. (2023). The Relationship between Air Resistance and the Vibrating Period of Simple Pendulum. *Theoretical and Natural Science*, 5(1), 282–287. <https://doi.org/10.54254/2753-8818/5/20230471>
- Listiaji, P., Taufiq, M., Tirtasari, N. L., Kholidah, A., & Tanjung, N. A. F. (2020). Measurement of Air Drag as Physics Experiment Enrichment at Senior High School Laboratory Using the Air Track Apparatus. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 9(1), 33. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v9i1.5091>
- Pacala, F. A., & Mendaño, R. (2025). Comparing The Acceleration Due to Gravity Using Traditional Method Versus Tracker Video Analysis: Experiments in A Simple Pendulum. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 21(1), 32–41. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v21i1.16717>
- Pangesti, W., Tiyas, K., Anisa, Z., & Novianto, H. (2023). Utilization of Clackers to Determine the Amount of Local Gravitational Acceleration Using Harmonic Vibration Theory Pemanfaatan Lato-Lato untuk Menentukan Besaran Percepatan Gravitasi Lokal Menggunakan Teori Getaran Harmonik. *CHEMVIRO: Jurnal Kimia Dan Ilmu Lingkungan*. <https://doi.org/https://doi.org/10.56071/chemviro.v1i1.561>
- Sukmak, W., & Musik, P. (2021). Development of a Computer-Based Simple Pendulum Experiment Set for Teaching and Learning Physics. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 14(1), 1–8. <https://doi.org/10.21307/ijssis-2021-014>
- Syahrul, J., & Adler, A. (2013). Pengukur Percepatan Gravitasi Menggunakan Gerak Harmonik Sederhana Metode Bandul. *Jurnal Teknik Komputer Unikom-Komputika*, 2(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.34010/komputika.v2i2.5165>
- Umam, A. K., Utami, R. W., Putri, A. H., Syaharani, A., & Antarnusa, G. (2020). Pengaruh Rapat Massa Tali terhadap Cepat Rambat Gelombang Pada Percobaan Hukum Melde Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Fisika Untirta. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Fisika*, 3(1), 348–354.
- Wahid, M. A., Tiara, E., Riantin, I. R., & Hamdan, A. M. (2019). Penggunaan metode analisis citra untuk menganalisa gerak harmonik sederhana pada pegas dan bandul. *Jurnal Phi: Jurnal Pendidikan Fisika Dan Fisika Terapan*, 5 (1). <https://doi.org/https://doi.org/10.22373/p-jpft.v5i1.6398>
- Yanti, Y., Mulyaningsih, N. N., & Saraswati, D. L. (2020). Pengaruh Panjang Tali, Massa dan Diameter Bandul Terhadap Periode dengan Variasi Sudut. *STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi)*, 5 (1).