

DOI: doi.org/10.58797/pilar.0102.02

Analisis Ayunan Pendulum Menggunakan Aplikasi Phyphox Pada Materi Fisika Kelas X

Salsan Sya'bana Zahra, Ivan Hary Syahbana*, Made Ocha Wiyadnyana,
Fani Anggraini

Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Pemuda No. 10 Rawamangun Jakarta, 13220, Indonesia

*Corresponding Email: [b\)ivanharysyahbana_1302620050@mhs.unj.ac.id](mailto:ivanharysyahbana_1302620050@mhs.unj.ac.id)

Received: 12 Oktober 2022
Revised: 14 November 2022
Accepted: 8 Desember 2022
Online: 31 Desember 2022
Published: 31 Desember 2022

Mitra Pilar: Jurnal Pendidikan, Inovasi, dan Terapan Teknologi
p-ISSN: 2964-7622
e-ISSN: 2964-6014



Abstract

This article contains a study on oscillations. In the basic physics practicum there are several simplifications of cases that aim to support the understanding of the concepts of physics learning. In the practicum implementation there is a proving process that is carried out through experiments and involves formulations using Newtonian and Lagrangian equations. This can be found in pendulum experiments using the Phyphox application, where there are simplified cases that make it easier to understand the factors that affect the value of the pendulum period. The method used is a real experiment using PhyPhox software, then the data obtained will be analyzed quantitatively and qualitatively manually. Therefore, this study aims to prove the value of the pendulum period based on experimental results and formula calculation data. The period values obtained in our research did not show a significant difference. We argue that a high degree of effectiveness exists in the Phyphox Application experimental medium. This is because the Phyphox application is able to save time and costs and is easy to use to support physics learning. Based on the results of the research and discussion, the following suggestions are put forward, namely that teachers can use sensors on Android smartphones as practicum tools. There is still a lot of practicum material that can be done by utilizing an Android smartphone such as motion material, waves, magnets, electricity, and so on.

Keywords: Pendulum, Period, Newtonian, Lagrangian.

Abstrak

Artikel ini memuat kajian pada osilasi. Dalam praktikum fisika dasar terdapat beberapa penyederhanaan kasus yang bertujuan untuk mendukung pemahaman konsep pembelajaran fisika. Dalam pelaksanaan praktikum terdapat proses pembuktian yang dilakukan melalui percobaan serta melibatkan perumusan menggunakan persamaan newtonian dan lagrangian. Hal ini dapat ditemukan pada percobaan pendulum menggunakan aplikasi phyphox, dimana terdapat kasus-kasus yang disederhanakan sehingga memudahkan pemahaman faktor-faktor yang mempengaruhi nilai periode pendulum. Metode yang digunakan adalah eksperimen nyata menggunakan software PhyPhox, kemudian data yang diperoleh akan dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif secara manual. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membuktikan nilai periode pendulum berdasarkan hasil percobaan dan data perhitungan rumus. Nilai periode yang diperoleh pada penelitian yang kami lakukan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Kami berargumentasi bahwa tingkat keefektifitas tinggi ada pada media percobaan Aplikasi Phyphox. Hal ini dikarenakan aplikasi Phyphox mampu mengefisieni waktu dan biaya serta mudah digunakan untuk mendukung pembelajaran fisika. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan diajukan saran berikut ini yaitu para guru dapat memanfaatkan sensor pada smartphone android sebagai alat praktikum. Masih banyak materi praktikum yang dapat dilakukan dengan memanfaatkan smartphone android seperti materi gerak, gelombang, magnet, listrik, dan lain sebagainya.

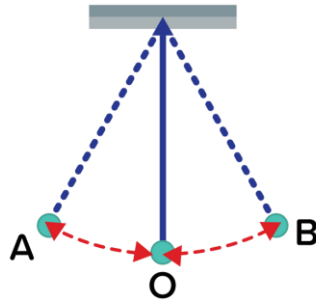
Kata-kata kunci: Lagrangian, Newtonian, Pendulum, Periode, Phyphox

PENDAHULUAN

Gerak osilasi adalah gerak periodik suatu benda atau sistem mekanik melalui titik kesetimbangan. Sistem mekanis dapat bergerak secara siklis karena tindakan pemulih gaya pada sistem (Budi, 2015). Gaya pemulih yang bekerja pada pendulum adalah berbanding lurus dengan perpindahannya dari posisi kesetimbangan dan selalu berarah menuju titik kesetimbangan tersebut, atau dikenal sebagai hukum hooke. Gerak pendulum ketika sudut dijaga tetap kecil, periode hanya bergantung pada panjang dan tidak bergantung pada massanya. Gerak ini disebut sebagai gerak osilasi harmonis sederhana (Briggle, 2013).

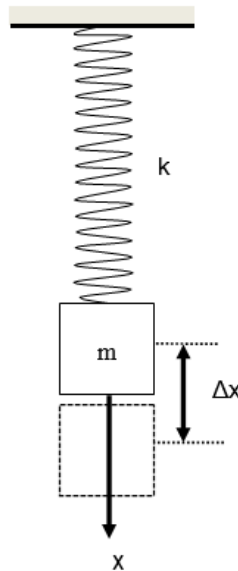
Benda akan mengalami osilasi jika gaya diterapkan sehingga bergerak bolak-balik melewati titik ini. Salah satu contoh gerak osilasi adalah bandul sederhana. Ketika simpangan yang diberikan kecil pada pendulum, maka akan menyebabkan pendulum tersebut berosilasi melewati posisi kesetimbangannya. Selama berosilasi, pendulum akan memiliki frekuensi dan periode. Periode menyatakan jumlah waktu yang diperlukan untuk membuat satu getaran penuh, frekuensi getaran yang terjadi setiap detik. Berdasarkan konsep bandul sederhana, periode tergantung pada panjang tali (Azizahwati, 2021).

Secara umum sistem mekanik dapat digambarkan oleh sistem bandul matematis dan sistem pegas-massa seperti yang ditunjukkan Gambar 1 dan Gambar 2



Gambar 1. Osilasi harmonis sederhana sistem bandul matematis.

Bandul sederhana merupakan sebuah partikel bermassa, m yang terikat pada sebuah poros tanpa adanya gesekan, P dengan sebuah kabel yang memiliki panjang L dengan massa kabel diabaikan. Ketika partikel ditarik dari posisi kesetimbangannya dengan sudut θ dan dilepaskan, partikel tersebut berayun dari titik A-O-B kemudian kembali melalui titik B-O-A. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. (Chaudhuri, 2010)



Gambar 2. Osilasi harmonis sederhana sistem pegas-massa. (Chaudhuri, 2010)

Secara umum gerak osilasi sederhana sistem bandul matematis dinyatakan dengan rumusan sebagai berikut (Jeulin - Study of simple pendulum):

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2\theta = 0 \quad (1)$$

$$\omega^2 = \frac{g}{L} \quad (2)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (3)$$

dengan frekuensi sudut osilasi, T = perioda osilasi (s), g = percepatan gravitasi (m/s), dan L = panjang tali bandul (m).

Untuk sistem pegas-massa persamaan umum gerak osilasi harmonis sederhana dapat ditulis (Jeulin - Oscillation of an elastic along a vertical axis):

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \quad (4)$$

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad (5)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (6)$$

dengan k = konstanta pegas (N/m) dan m = massa sistem (kg).

Untuk sistem bandul fisis seperti Gambar 3, karena kedudukan pusat massa sistem bandul matematis berbeda dengan kedudukan pusat massa pada fisis maka dapat ditulis:

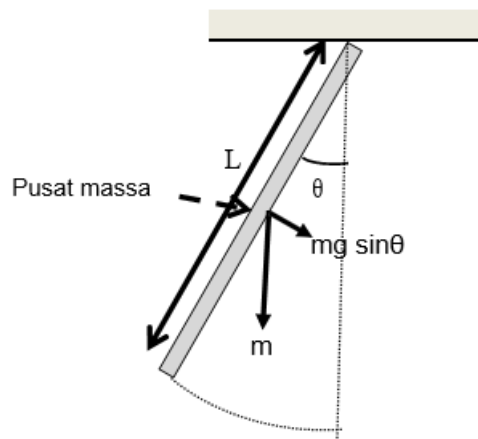
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (7)$$

$$\omega^2 = \frac{mgL}{2I} \quad (8)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{mgL}{2I}} \quad (9)$$

dengan I = momen lembam batang bandul (kg/m^2).

Jika $I = m \left(\frac{L}{2}\right)^2$, maka persamaan umum gerak osilasi bandul fisis adalah sama dengan persamaan umum gerak osilasi sederhana bandul matematis (Persamaan 1).



Gambar 3. Osilasi harmonis sistem bandul fisis. (G.D & Ospina-Henao.P.A, 2017)

Sekarang, kita siap untuk menjelaskan gerak pendulum teredam yang lebih umum dengan memperkenalkan modifikasi pada persamaan gerak. Pendulum sederhana yang diperkenalkan pada bagian sebelumnya, dapat dianggap sebagai kasus paling sederhana dari pendulum fisis umum, Pendulum fisis teredam, juga merupakan sistem non-konservatif di mana torsi eksternal bekerja padanya (G.D & Ospina-Henao.P.A, 2017)

Revolusi industri berdampak global dan menyeluruh pada semua bidang kehidupan manusia, termasuk bidang pendidikan. Hal ini ditandai dengan semakin berkembangnya berbagai teknologi dan informasi dalam kehidupan manusia hingga diadopsi dalam dunia Pendidikan

dalam bentuk software yang dapat membantu eksperimen di laboratorium dengan lebih mudah. Ada banyak keuntungan menggunakan software ini, seperti mengimplementasikan eksperimen yang memakan waktu dalam periode yang lebih singkat, dan berfungsi sebagai alternatif yang efektif untuk laboratorium mahal. Manfaat lain dari software tersebut dapat dilakukan kegiatan laboratorium dalam rangka praktikum siswa untuk membantu mereka dalam memahami konsep Fisika.

PhyPhox (Physical Phone Experiment) adalah salah satu tools yang dapat digunakan untuk membantu praktikum. Sebuah eksperimen fisika berbasis smartphone, menjadikan smartphone sebuah magnetometer 3D, dan ponsel dapat digunakan sebagai pendulum (D Nanto, 2022). PhyPhox merupakan aplikasi berbasis android dan iphone yang dikembangkan oleh RWTH Aachen University. Phyphox memberikan akses ke sensor ponsel baik secara langsung atau melalui eksperimen yang kemudian menganalisis data yang dihasilkan atau bisa mengeksport data mentah bersama dengan hasil untuk analisis lebih lanjut. Aplikasi PhyPhox dapat digunakan untuk berbagai model pembelajaran dan praktis digunakan sebagai laboratorium nyata (real lab). Praktikum dengan menggunakan aplikasi PhyPhox dapat membuat siswa mandiri dalam melakukan percobaan. Hal ini juga dapat secara efektif dan efisien meningkatkan pemahaman siswa. (Luo, Hu, Fu, & Fan, 1998)



Gambar 4. Tampilan Aplikasi PhyPhox.

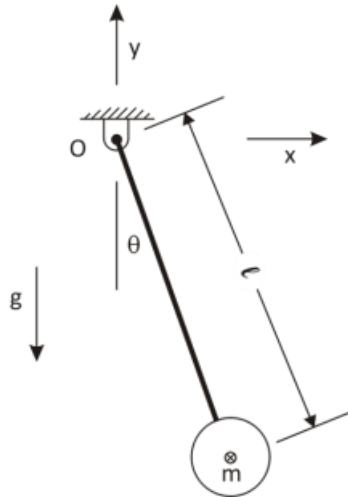
(https://www.apkmonk.com/app/id/de.rwth_aachen.phyphox/)

Artikel ini mempelajari gerak osilasi harmonis sederhana khususnya mengkaji perubahan periode, frekuensi dan amplitudo osilasi terhadap panjang tali yang terikat pada bandul dengan sudut yang sama

Persamaan gerak bandul sederhana dengan panjang l yang bekerja dalam medan gravitasi adalah:

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l} \cdot \sin\theta = 0$$

Persamaan ini dapat diperoleh dengan menerapkan Hukum Kedua Newton (N2L) ke bandul dan kemudian menulis persamaan kesetimbangan. Sangatlah bermanfaat untuk mengerjakan persamaan gerak ini juga menggunakan Mekanika Lagrangian untuk melihat bagaimana prosedur diterapkan dan hasil yang diperoleh sama.



Gambar 5. Pendulum (Budi, 2015)

FORMULASI LAGRANGIAN

Fungsi Lagrangian didefinisikan sebagai:

$$L = T - U \tag{10}$$

di mana T adalah energi kinetik total dan U adalah energi potensial total dari sistem mekanik.

Untuk mendapatkan persamaan gerak, kami menggunakan rumus Lagrangian:

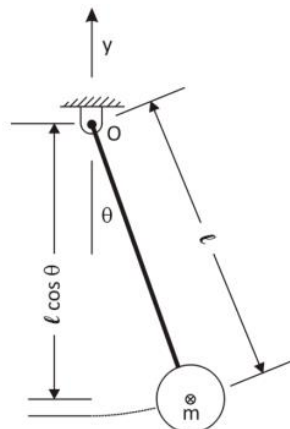
$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = F_i \tag{11}$$

di mana q menandakan koordinat umum dan F menandakan gaya non-konservatif yang bekerja pada sistem mekanis. Untuk pendulum sederhana, kita asumsikan tidak ada gesekan, jadi tidak ada gaya non-konservatif, jadi semua F_i adalah 0. Persamaan gerak di atas dinyatakan dalam θ sebagai koordinat, bukan dalam bentuk x dan y. Jadi kita perlu menggunakan kinematika untuk mendapatkan suku energi kita dalam bentuk θ (Owen, 2014)

Untuk T, kita membutuhkan kecepatan massa.

$$v = l \cdot \dot{\theta} \tag{12}$$

$$T = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(l \cdot \dot{\theta})^2 = \frac{1}{2}ml^2 \dot{\theta}^2 \tag{13}$$



Gambar 6. tinggi untuk energi potensial (Budi, 2015)

Energi potensial, U , hanya bergantung pada koordinat y . Mengambil $\theta = 0$ sebagai posisi di mana $U = 0$,

$$y = l - l \cdot \cos \theta = l \cdot (1 - \cos \theta) \quad (14)$$

Jadi,

$$U = m \cdot g \cdot y = m \cdot g \cdot l \cdot (1 - \cos \theta) \quad (15)$$

Sekarang kami memiliki semua bagian untuk melengkapi formulasi Lagrangian. Fungsi Lagrangian dalam hal θ adalah:

$$L = T - U = \frac{1}{2} m l^2 \dot{\theta}^2 - m \cdot g \cdot l \cdot (1 - \cos \theta) \quad (16)$$

Satu-satunya koordinat umum adalah $q_1 = \theta$, Jadi:

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = m \cdot l^2 \cdot \dot{\theta} \quad (17)$$

Melanjutkan

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) = m \cdot l^2 \cdot \ddot{\theta} \quad (18)$$

Kemudian

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = -(m \cdot g \cdot l \cdot \sin \theta) \quad (19)$$

Sekarang, gabungkan dua persamaan terakhir ini

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} = m \cdot l^2 \cdot \ddot{\theta} + m \cdot g \cdot l \cdot \sin \theta = 0 \quad (20)$$

Menyederhanakan,

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l} \cdot \sin \theta = 0 \quad (21)$$

Ada beberapa fitur Persamaan Lagrange:

1. Gunakan koordinat umum untuk menyatakan persamaan gerak dalam suatu sistem lengkap, jumlah persamaan dan kebebasan sistem sesuai.
2. Counterforce kendala yang ideal tidak akan muncul dalam set persamaan. Dalam proses pembentukan persamaan gerak, hanya perlu menganalisis gaya penggerak yang diketahui, tidak perlu menganalisis gaya tandingan yang tidak diketahui.
3. Persamaan Lagrange adalah persamaan gerak yang dibentuk dari sudut pandang energi. Untuk membuat daftar persamaan gerak sistem, perlu dianalisis dari dua aspek. Salah satunya adalah energi kinetik sistem yang merepresentasikan varian kinetik dari gerak sistem; yang lainnya adalah gaya umum yang mewakili varian kinetik dari aksi gaya penggerak. (Zhang & Tu, 2006)

Selain dari segi konsep aplikasi Phypbox yang ditawarkan, apabila diterapkan dalam pembelajaran dalam memahami konsep materi yang digunakan juga harus sesuai dengan permasalahan yang saat ini terjadi. Dalam fokus ilmu sains, banyak peserta didik yang mengeluhkan keberadaan materi yang berhubungan dengan fisika. Berdasarkan penelitian Soong dkk, menyebutkan peserta didik cenderung tidak tertarik dengan konsep fisika karena memiliki konten materi yang sulit (Soong dkk, 2009). Atas dasar kesulitan tersebut, banyak siswa yang hanya mengandalkan hafalan rumus tanpa memahami konteks dari materi tersebut, alhasil pembelajaran materi fisika tidak dapat berjalan dengan baik (Istiyowati, 2017).

Paradigma yang ada pada peserta didik ini seharusnya dapat segera diubah agar belajar fisika dapat lebih mudah dan dapat dipahami secara menyeluruh. Tidak hanya mengandalkan rumus, namun pemahaman dan juga belajar konsep dasar merupakan hal yang penting untuk dijadikan pegangan dalam meneruskan konsep lanjutan. Konsep dasar yang dimaksud ialah hukum-hukum fisika yang dipakai sebagai acuan ketika belajar materi baik teori maupun praktik. Dengan begitu, konsep hukum fisika harus dipahami pada tahap awal pembelajaran. Perlu adanya pendalaman dalam pemahaman konsep hukum-hukum yang ada di fisika. (Sidik, 2018).

Penjabaran di atas menunjukkan kebutuhan pemahaman hukum fisika sangat penting agar ilmu fisika tidak hanya dipelajari dengan sebatas menghafal rumus, namun dapat dipertanggungjawabkan secara keseluruhan. Oleh karena itu, dibutuhkan cara yang seru dan sesuai dengan perkembangan zaman agar pemahaman materi bisa segera dicerna dengan baik. Aplikasi Phyphox inilah yang dapat menjadi jawaban untuk permasalahan fisika.

METODE

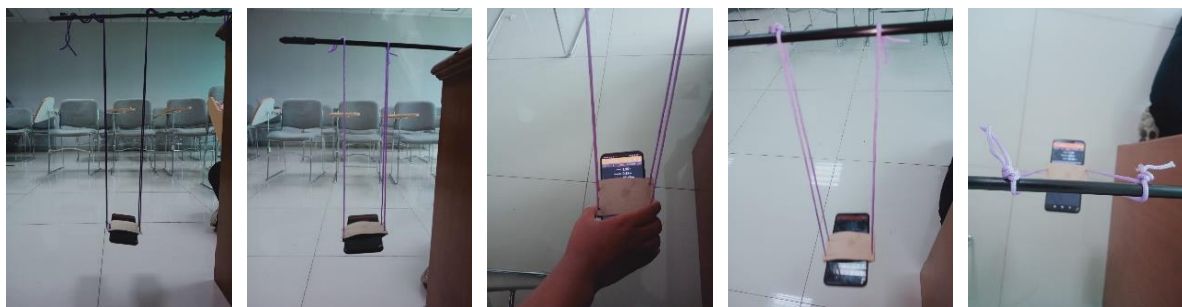
Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimen dengan kegiatan laboratorium pada pendulum. Eksperimen dilakukan secara nyata menggunakan software PhyPhox. Data yang diperoleh akan dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif secara manual. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Bagan alur penelitian.

PERCOBAAN

Panjang tali digunakan sebagai variabel bebas dan periode digunakan sebagai variabel terikat. Percobaan dilakukan untuk mengetahui pengaruh panjang tali terhadap nilai periode. Langkah pertama adalah mengukur panjang tali dan menentukan massa benda yang digunakan. Tahap kedua adalah tahap observasi yang dilakukan pada tali dengan panjang 0,40 m, 0,50 m, dan 0,60 m. Tahap ketiga mengamati perubahan periode panjang tali yang telah diukur dan ditentukan. Tahap keempat mengamati perilaku periode yang terjadi pada setiap panjang tali. Eksperimen dilakukan sebanyak 10 kali untuk mendapatkan nilai akurasi yang sesuai dan nilai ketidakpastian yang akurat. Stopwatch mulai dipencet untuk menghitung 10 kali getaran harmonis saat pendulum bergerak secara harmonis. Eksperimen untuk menyelidiki gerak harmonis sederhana menggunakan aplikasi phyphox telah dilakukan dengan memanfaatkan acoustic stopwatch dalam mengukur waktu. Berbagai sensor yang didukung aplikasi adalah sensor accelerometer, magnetometer, gyroscope, intensitas cahaya, tekanan, mikrofon, proximity, dan GPS. (Harjono, 2021)



Gambar 8. Percobaan Pendulum pada Phyphox

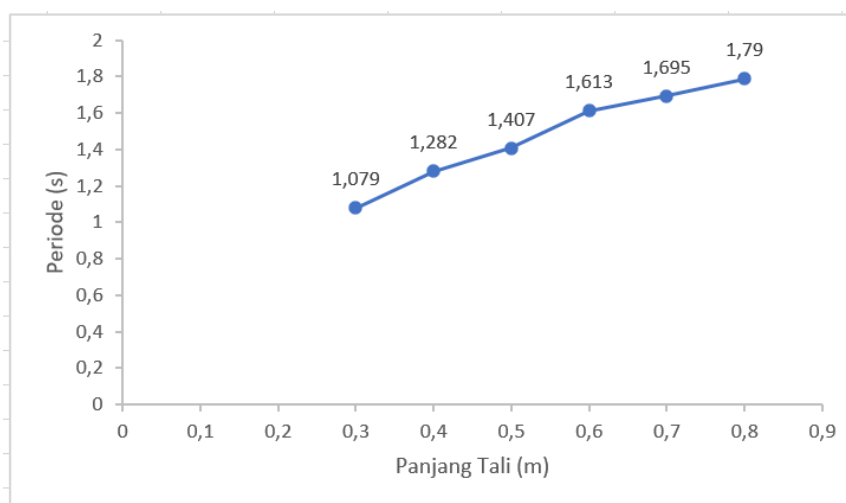
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan PhyPhox pada pendulum, percobaan ini akan mendapatkan nilai periode paling akurat yang mungkin ada pada percobaan laboratorium nyata yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Percobaan

Panjang Tali (m)	Data yang diambil dari periode pendulum (s)										Rata-rata (s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0,3	1,07	1,08	1,08	1,09	1,07	1,07	1,08	1,09	1,09	1,07	1,079
0,4	1,27	1,28	1,27	1,28	1,28	1,28	1,29	1,28	1,3	1,29	1,282
0,5	1,4	1,39	1,4	1,4	1,41	1,41	1,42	1,41	1,42	1,41	1,407
0,6	1,59	1,61	1,6	1,6	1,61	1,62	1,62	1,61	1,64	1,63	1,613
0,7	1,67	1,71	1,72	1,71	1,7	1,69	1,67	1,69	1,71	1,68	1,695
0,8	1,82	1,78	1,79	1,77	1,78	1,81	1,79	1,78	1,81	1,77	1,790

Tabel 1 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai rata-rata periode tergantung panjang tali. Dengan bertambahnya panjang tali, akan memberikan pertambahan nilai periode yang konstan untuk setiap selisih panjang tali. Pertambahan periode yang konstan seiring bertambahnya panjang tali diharapkan oleh teori seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3. Nilai pertambahan periode terhadap panjang tali dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Pengaruh panjang tali pada periode di laboratorium nyata (PhyPhox)

Peningkatan pada grafik cukup signifikan dan cenderung terjadi peningkatan di setiap panjang talinya. Nilai standar deviasi yang diperoleh dari masing-masing panjang tali menghasilkan nilai yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Standar Deviasi

Panjang Tali (m)	Standar Deviasi
0,3	0,008756
0,4	0,009189
0,5	0,009487
0,6	0,014944
0,7	0,017795
0,8	0,017638

Tabel 3. Nilai Periode Berdasarkan Referensi

	L	T
Percobaan 1	0,3	1,098210944
Percobaan 2	0,4	1,268104769
Percobaan 3	0,5	1,417784233
Percobaan 4	0,6	1,553104812
Percobaan 5	0,7	1,677544927
Percobaan 6	0,8	1,793370962

Terdapat perbedaan yang tidak signifikan antara hasil perhitungan data dengan hasil perhitungan PhyPhox. Hasil perbedaan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain percobaan bandul manusia. Hasil akurasi dalam percobaan laboratorium nyata dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan:

$$\text{Periode Error} = \frac{\text{pengukuran} - \text{referensi}}{\text{pengukuran}} \times 100\%$$

$$\text{Pesi} = 100\% - \text{Error}$$

Tabel 4. Standar Deviasi dan Nilai Error

Panjang Tali (m)	Periode Error (%)	Presisi (%)
0,3	1,75%	98,25%
0,4	1,09%	98,91%
0,5	0,82%	99,18%
0,6	3,85%	96,15%
0,7	1,22%	98,78%
0,8	0,85%	99,15%

Berdasarkan hasil penelitian ini, lab nyata menggunakan PhyPhox dapat digunakan karena hasil perhitungan periode error tidak terlalu besar. Namun pada lab sesungguhnya, hasil yang ditemukan akan selalu berbeda-beda sesuai dengan kondisi lapangan. Dengan demikian, PhyPhox ini dinilai cocok digunakan sebagai alternatif untuk membantu melakukan eksperimen yang efektif.

Dapat diasumsikan bahwa kedudukan pusat massa sistem bandul fisis ada di tengah batang bandul, maka persamaan umum gerak osilasinya dapat mengacu pada Persamaan 1. Hasil percobaan menunjukkan bahwa gerak osilasi harmonis sederhana, khususnya gerak osilasi sistem bandul fisik, bersesuaian dengan rumusan persamaan umum gerak osilasi sederhana (persamaan 1). Faktor penyebab ketidaksesuaian antara hasil percobaan dengan simulasi antara lain kemungkinan karena semakin besarnya pengaruh gesekan bandul dengan udara sekitar. Sementara itu untuk periode osilasi adalah secara umum relatif tetap tidak bergantung pada sudut simpangan awal. Hal ini membuktikan rumusan teori dimana perioda osilasi hanya bergantung pada Panjang tali dan percepatan gravitasi yang keduanya adalah tetap.

Penggunaan aplikasi Phypox ataupun aplikasi android sebagai media pembelajaran atau media praktikum sudah banyak dilakukan, di antaranya seperti yang dinyatakan dalam suatu artikel berjudul “Alat Canggih untuk Eksperimen: Phiphox” (S. Staacks et al., 2018), yaitu bahwa eksperimen berbasis smartphone dapat memotivasi siswa karena memungkinkan mereka mengeksplorasi Fisika dengan alat mereka sendiri.

Pada pembelajaran SMA Fisika kelas X, biasanya pendidik mengajar dengan menggunakan persamaan Newtonian. Persamaan Newtonian cenderung lebih sederhana dan dapat dimengerti dengan mudah. Maka dari itu, persamaan Newtonian untuk gerak pendulum sederhana dinilai lebih mudah dan efisien untuk diajarkan pada jenjang SMA matapelajaran Fisika kelas X.

Pada materi gelombang terdapat kegiatan laboratorium dengan menggunakan bandul sederhana. Percobaan bandul sederhana bertujuan agar siswa mampu mengukur amplitudo, periode, frekuensi suatu getaran dan mampu menganalisis data hasil percobaan untuk mengetahui hubungan antara amplitudo, periode dan frekuensi getaran (Jumadin, Hidayat, & Sutopo, 2017). Pada umumnya siswa sulit menentukan apakah amplitudo mempengaruhi periode dan frekuensi ataukah tidak. Kesulitan tersebut dapat diatasi dengan kegiatan penyelidikan, sehingga siswa terlibat langsung mengamati massa bandul, panjang tali, ataukah amplitudo yang mempengaruhi periode dan frekuensi getaran. Dengan ini, siswa dapat melihat gerak pendulum sederhana melalui sudut pandang berbeda, mulai dari eksperimen, persamaan Newtonian, dan persamaan Lagrangian.

KESIMPULAN

Secara umum, gerak sistem ayunan pendulum, merupakan osilasi harmonis sederhana hanya jika sudut simpangan awal sistem adalah kecil ($< 100^\circ$). Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa periode dari sebuah bandul dipengaruhi oleh panjang tali. Hal tersebut disebabkan oleh hubungan Panjang tali dan periode berbanding lurus. Semakin besar panjang sebuah tali semakin besar nilai periode sebuah bandul dan juga semakin pendek sebuah tali maka nilai periodenya akan semakin mengecil. Kemudian hasil penelitian juga menunjukkan bahwa aplikasi phypox memiliki kemiripan dengan hasil perhitungan manual sebesar 96.15%-99.18%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis disampaikan kepada Program Studi Fisika dan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Jakarta untuk fasilitas laboratorium selama percobaan

REFERENCES

- Arikunto, S. (2009). *Prosedur Penelitian*. Jakarta: PT. Rineka Cipta
- Azizahwati, A., Rahmad, M., & Zamri, R. (2021, October). Development of Digital Simple Pendulum Learning Media. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2049, No. 1, p. 012065). IOP Publishing.
- Briggle, J. (2013). Analysis of pendulum period with an iPod touch/iPhone. *Physics Education*, 48(3), 285.
- Budi, E. (2015). Kajian Fisis pada Gerak Osilasi Harmonis. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 1(2), 59-66.
- Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2011). *Numerical methods for engineers* (Vol. 1221). New York: Mcgraw-hill.

- Chaudhuri, R. (2010). *Waves and Oscillations*. New Delhi: New Age International (P) Limited.
- Nanto, D., Agustina, R. D., Ramadhanti, I., Putra, R. P., & Mulhayatiah, D. (2022). The usefulness of LabXChange virtual lab and PhyPhox real lab on pendulum student practicum during pandemic. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2157, No. 1, p. 012047). IOP Publishing.
- Quiroga, G. D., & Ospina-Henao, P. A. (2017). Dynamics of damped oscillations: physical pendulum. *European Journal of Physics*, 38(6), 065005.
- MSi, H. (2021). Pemanfaatan Sensor Android Sebagai Media Eksperimen Pada Materi Gerak Harmonis Sederhana. *Jurnal Teknodik*, 131-142.
- Istiyowati, A., Kusairi, S., & Handayanto, K. S. (2017). Analisis Pembelajaran dan Kesulitan Siswa Kelas XI Terhadap Konsep Fisika. *Prosiding Seminar Nasional III Tahun 2017 Universitas Muhammadiyah Malang*. Hal. 237-243.
- Luo, J., Hu, Z. K., Fu, X. H., Fan, S. H., & Tang, M. X. (1998). Determination of the Newtonian gravitational constant G with a nonlinear fitting method. *Physical Review D*, 59(4), 042001.
- Mu, L., Tang, X., Sugumaran, V., Xu, W., & Sun, X. (2021). Optimal rebate strategy for an online retailer with a cashback platform: commission-driven or marketing-based? *Electron Commer Res*.
- Mu, L., Tang, X., Sugumaran, V., Xu, W., & Sun, X. (2021). Optimal rebate strategy for an online retailer with a cashback platform: commission-driven or marketing-based?. *Electronic Commerce Research*, 1-36.
- Owen, F. (2014). Simple pendulum via Lagrangian mechanics. *Alpha Omega Engineering*, 1-3.
- Peraturan Pemerintah No.68 Tentang Ketahanan Pangan (2002).
- Sidik, A. F. (2018). Pengembangan Bahan Ajar Fisika Kelas X SMA/MA Berbasis Kearifan Lokal Pada Materi Pengukuran Gerak Benda, dan Hukum-hukum Newton. *UIN Walisongo Semarang*, Skripsi.
- Soong, B., Mercer, N., & Er, S. S. (2009, November). Students' difficulties when solving physics problems: Results from an ICT-infused revision intervention. In *Proceedings of the 17th International Conference on Computers in Education (ICCE)* (pp. 361-365).
- Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H., & Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. *Physics education*, 53(4), 045009.
- Tseng, K. H., Chang, C. C., Lou, S. J., & Chen, W. P. (2013). Attitudes towards science, technology, engineering and mathematics (STEM) in a project-based learning (PjBL) environment. *International Journal of Technology and Design Education*, 23, 87-102.
- Zhang, L., & Tu, Y. (2006, June). Research of car inverted pendulum model based on lagrange equation. In *2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation* (Vol. 1, pp. 820-824). IEEE.