Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
5 (3) 2025, Page: 32859-32872

Analisis Gerak Harmonik Sederhana Sebagai Model Getaran Dalam Sistem Rekayasa Modern

Meydiyah Salsa Bila[1*], Nurhamidah[2], Faizatul Mabruroh[3], Yuli Agustina Rahayu[4] Muhamad Akbar Mahadva Yuda[5]

[1]Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan
UIN Raden Fatah Palembang, Indonesia Jl. Prof. K. H. Zainal Abidin
Fikri Km.3, Kota Palembang.

*e-mail: mydyhslsabila@gmail.com

Published: November , 2025

ABSTRACT

This study aims to analyze the characteristics of simple harmonic motion (SHM) through pendulum experiments and the application of video analysis technology using the Tracker application as a model to understand vibration behavior in modern engineering systems. The experiment was conducted by varying the length of the pendulum string and measuring the period, frequency, and gravitational acceleration of the observations. Data were obtained through two methods, namely direct measurement using a stopwatch and digital analysis using the Tracker application to track the position, speed, and acceleration of the pendulum motion more accurately. The results show that the pendulum period increases with the length of the string, in accordance with the theoretical equation $T = 2\pi\sqrt{(l / g)}$. Analysis using Tracker provides gravitational acceleration values ranging from 8.15 m / s² to 8.99 m / s², which is close to the value of Earth's gravity (9.8 m / s²). The position-time and velocity-time graphs show a sinusoidal pattern consistent with the characteristics of SHM. The linear relationship between the square of the period T^2 and the length of the string l strengthens the agreement between the experimental results and the theory of SHM. Furthermore, the study also demonstrates the relevance of GHS in modern engineering systems such as vehicle suspension, vibration sensors, and the swing system on the Kora-Kora ride, which follow a similar oscillation pattern. The implementation of the Tracker application has been shown to improve the accuracy of the analysis by displaying motion data quantitatively, thus strengthening the understanding of GHS as a fundamental vibration model in engineering technology. Overall, this study confirms that simple harmonic motion is not only a theoretical concept but also an important foundation for understanding vibration dynamics in various modern mechanical systems.

Keywords: *Simple Harmonic Motion, Pendulum, Tracker, Vibration, Period, Modern Engineering.*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik gerak harmonik sederhana (GHS) melalui percobaan bandul dan penerapan teknologi analisis video menggunakan aplikasi Tracker sebagai model untuk memahami perilaku getaran pada sistem rekayasa modern. Percobaan dilakukan dengan memvariasikan panjang tali bandul serta mengukur periode, frekuensi, dan percepatan gravitasi hasil pengamatan. Data diperoleh melalui dua metode, yaitu pengukuran langsung menggunakan stopwatch dan analisis digital menggunakan aplikasi Tracker untuk melacak posisi, kecepatan, dan percepatan gerak bandul secara lebih akurat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa periode bandul meningkat seiring bertambahnya panjang tali, sesuai dengan persamaan teoritis $T = 2\pi\sqrt{l/g}$. Analisis menggunakan Tracker memberikan nilai percepatan gravitasi berkisar antara 8,15 m/s² hingga 8,99 m/s², yang mendekati nilai gravitasi bumi (9,8 m/s²). Grafik posisi waktu dan kecepatan waktu menunjukkan pola sinusoidal yang konsisten dengan karakteristik GHS. Hubungan linier antara kuadrat periode T^2dan panjang tali lmemperkuat kesesuaian antara hasil eksperimen dan teori gerak harmonik sederhana. Selain itu, penelitian juga memperlihatkan relevansi GHS dalam sistem rekayasa modern seperti suspensi kendaraan, sensor getaran, dan sistem ayunan pada wahana Kora-Kora yang mengikuti pola osilasi serupa. Penerapan aplikasi Tracker terbukti meningkatkan ketelitian analisis dengan menampilkan data gerak secara kuantitatif, sehingga memperkuat pemahaman tentang GHS sebagai model dasar getaran dalam teknologi rekayasa. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa gerak harmonik sederhana bukan hanya konsep teoritis, tetapi juga menjadi fondasi penting dalam memahami dinamika getaran pada berbagai sistem mekanik modern.

Kata kunci: Gerak Harmonik Sederhana, Bandul, Tracker, Getaran, Periode, Rekayasa Modern.

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

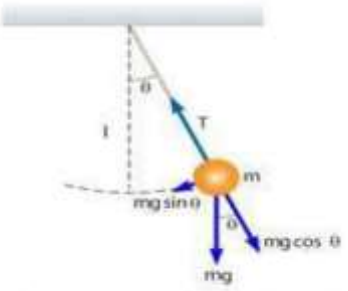
Salah satu konsep fisika yang paling penting adalah Gerak Harmonik Sederhana (GHS). GHS adalah jenis gerak osilasi periodik di mana suatu benda bergerak bolak-balik melewati titik keseimbangan dengan gaya pemulih yang besarnya berbanding lurus dengan perpindahan benda dan selalu bergerak menuju titik keseimbangan. Gerak ini menunjukkan pola yang sangat terratur dan sering kali berfungsi sebagai model dasar untuk memahami fenomena getaran mekanik yang banyak ditemukan dalam berbagai aplikasi rekayasa kontenporer. Getaran sering menjadi komponen penting dalam sistem rekayasa kontemporer yang memengaruhi kinerja dan keawetan mesin, struktur, dan perangkat teknologi lainnya. Model getaran GHS memberikan gambaran yang akurat namun sederhana tentang sistem yang berosilasi, seperti bandul, pegas, dan berbagai komponen mekanis lainnya. Insinyur dapat menentukan periode, frekuensi, dan amplitudo getaran dengan memahami GHS. Ini membantu dalam desain sistem untuk menahan getaran, menghindari resonansi, dan meningkatkan kestabilan dan keselamatan. Di era teknologi modern pengendalian getaran juga dikenal sebagai pegendalian getaran menjadi tantangan utama dalam mengembangkan sistem yang presisi, efisien, dan tahan lama. Jika perancangan sistem tidak memahami sifat getaran dengan baik, mereka berisiko menghadapi masalah seperti resonansi berlebihan, keausan komponen, penurunan efisiensi energi, atau bahkan kegagalan struktur. Oleh karena itu, penelitian ini penting, penelitian dapat menggunakan GHS sebagai model untuk membuat strategi prediksi dan solusi pengendalian getaran yang lebih baik.

Dengan karakteristiknya yang paling sederhana, gerakan harmonik sederhana (GHS) adalah model dasar untuk getaran. Namun, GHS dapat dengan akurat menggambarkan perilaku getaran pada berbagai sistem fisik. Analisis GHS dapat menjelaskan secara matematis dan eksperimental hubungan antara gaya pemulih, perpindahan, kecepatan, percepatan, dan energi dalam sistem getaran. Oleh karena itu, GHS adalah model yang ideal untuk mempelajari prinsip osilasi dan resonansi dasar yang sering terjadi dalam sistem rekayasa. Penelitian ini juga dilakukan dari perspektif akademik dengan tujuan menghubungkan konsep fisika dasar dengan aplikasinya dalam rekayasa kontemporer. Analisis gerak harmonik sederhana sangat penting dalam teori dan pemodelan sistem dinamis dalam simulasi dan eksperimen laboratorium. Studi ini membantu siswa dan penelitian memahami dinamika sistem teknik. Selain itu, GHS memainkan peran penting dalam pengembangan sistem kontrol konterpoper. Sebagai contoh, sistemsuspensi kendaraan yang dirancang berdasarkan prinsip-prinsip GHS dimaksudkan untuk memberikan kontrol dan kenyamanan saat berkendara. Analisis getaran mesin dengan model GHS membantu industri menemukan kerusakan dini dan melakukan perawatan preventif. Di bidang elektronika, ide GHS digunakan pada sensor presisi yang mengukur percepatan dan posisi dengan getaran.

Dari sudut pandang ilmiah dan praktis, GHS juga merupakan fondasi penting dalam pembelajaran fisika karena membantu siswa dan penelitian memahami prinsip-prinsip osilasi dan getaran sebelum mulai mempelajari sistem yang lebih kompleks. Persamaan gerak harmonik sederhana memiliki bentuk yang berbeda, yang memudahkan perhitungan dan prediksi perilaku getaran yang sering terjadi didunia nyata. Dengan kemajuan teknologi dan kebutuhan sistem rekayasa yang semakin kompleks, model gerak harmonik sederhana harus digabungkan dengan metode analisis getaran frekuensi, redaman, dan gaya eksternal untuk membuat sistem lebih handal dan efisien. Oleh karena itu, pemahaman menyeluruh tentang GHS sebagai model getaran sangat penting bukan hanya di bidang akademik, tetapi juga untuk aplikasinya di industri dan dunia teknik kontenporer.

Menurut Rusianto (2021) menyatakan bahwa dalam mekanisa dan fisika, gerak harmonik sederhana adalah jenis gerak periodik atau isolasi khusus dimana gaya (F) berbanding lurus dengan perpindahan (x) dan dalam arah yang berlawanan dengan perpindahan. Berbagai gerakan, seperti osilasi pegas, dapat

dimodelkan menggunakan gerakan harmonik sederhana. Gerakan harmonik sederhana juga dapat digunakan untuk melihat fenomena lain, seperti getaran molekul dan gerakan pendulum atau bandul. Ketika gaya pemulihan elastis linier yang diberikan oleh hukum hooke diterapkan, gerakan massa pada pegas menunjukkan gerakan harmonik sederhana. Gerakan ini menunjukkan ini menunjukkan frekuensi resonansi tunggal dan bergerak secara sinusoidal dalam waktu. Gaya total onjek diujung pendulum harus proporsional dengan perpindahan agar gerakan harmonik sederhana dapat digunakan sebagai model pendulum yang akurat. Bandul sederhana terdiri atas sebuah beban bermassa m yang digantung di ujung tali ringan yang panjangnya (I). Jika beban ditarik ke satu sisi dan dilepaskan dari sisi yang lain, beban berayun menuju ke sisi yang lain melalui titik keseimbangan. Bandul menghasilkan getaran harmonik ketika getaran harmonik ketika amplitudo ayunannya kecil. Bandul sederhana memiliki periode dan frekuensi getaran yang sama dengan pegas, jadi periode dan frekuensi dapat dihitung dengan menyamakan gaya pemulih dan gaya sentripetal.



Gambar 1.1. Gaya pada bandul sederhana

Berbagai sistem fisik dapat mengalami gerakan harmonik sederhana. Ini termauk gerakan osilasi pada pegas yang direntangkan dan digerakan dan gerakan bandul sederhana yang berayun. Dalam sistem pegas, gaya pemulih adalah gaya pegas itu sendiri yang berusaha mengembalikan massanya ke posisi setimbang. Ketika bandul disimpangkan dari posisi setimbangnya dan kemudian dilepaskan, bandul bergerak bolak-balik secara periodik karena gaya gravitasi. Gerak harmonik terjadi pada bandul. Fenomena ini sangat penting untuk banyak penerapan rekayasa moder, seperti dalam desain sistem suspensi kendaraan, pengujian getaran struktur bangunan, pembuatan alat pengukur frekuensi, dan sistem pengendalian mekanik yang membutuhkan kesetabilan. Secara umum, pemahaman gerak harmonik sederhana sangat penting untuk analisis getaran mekanik dan desain sistem dinamik yang berperilaku berosilasi, jika tidak ada gaya luar yang bekerja, seperti gesekan atau hambatan udara, total energi mekanik konstan.

Gerak harmonik sederhana adalah gerak periodik bolak-balik yang memiliki persamaan gerak sinusoidal dan berpusat pada satu titik yang disebut titk seimbang. Gerak periodik bolak-balik selalu kembali ke titik seimbang setelah mencapai batas maksimum atau minimumnya. Jenia gerak harmonik sederhana (GHS) terbagi menjadi dua, yaitu GHS Linier dan GHS Angular: GHS Linier adalah gerak bolak-balik benda melalui suatu titik keseimbangan dalam lintasan lurus. Contohnya adalah gerak penghisap dalam silinder gas, osilasi air raksa atau air dalam pipa U, dan gerak horizontal atau vertikal dari pegas. GHS Angular adalah gerak bolak-balik yang terjadi pada gerakan sudut atau putaran melalui suatu titik keseimbangan. Contohnya adalah gerak bandul sederhana, bandul fisis, osilasi ayunan torsi, dan sebagainya. Pada GHS, benda bergerak melalui titik keseimbangan dengan gaya pemulih yang selalu mengarah ke titik tersebut, sehingga benda bergerak bolak-balik periodik. Contoh pada bandul sederhana, jika beban digeser dari titik keseimbangan dan dilepaskan, maka beban akan bergerak kembali ke titik tersebut dan berosilasi dengan pola yang berulang. Pada pegas, jika sebuah benda dihubungkan dan menarik pegas, gaya pemulih pegas akan menarik benda kembali ke posisi setimbang sehingga terjadi gerak harmonik sederhana. Prinsip utama dalam GHS adalah keberadaan gaya pemulih yang bekerja berlawanan arah dengan perpindahan benda dari titik keseimbangan. Besarnya gaya pemulih berbanding lurus dengan simpangan benda dan dapat dirumuskan misalnya untuk sistem pegas dengan gaya $F = -kx$, dimana k adalah konstanta pegas dan x simpangan dari titik setimbang.

Sifat-sifat utama GHS antara lain: 1. Gerak periodik dengan periode (waktu satu siklus lengkap) dan frekuensi (jumlah siklus per detik) yang konstan. 2. Benda mencapai kecepatan maksimum saat melewati titik keseimbangan dan kecepatan nol saat mencapai amplitudo (simpangan maksimum). 3.

Percepatan selalu menuju titik keseimbangan dan besarnya berbandingan lurus dengan simpangan, dengan arah berlawanan (menghasilkan persamaan $a = -\omega 2x$ dimana ω adalah kecepatan sudut). 4. Energi mekanik pada GHS adalah konstan, terdiri dari energi kinetik dan potensial yang saling bertukar selama osilasi.

Menurut Narzuka (2020), periode dan frekuensi ayunan bandul adalah dua komponen yang mempengaruhi getaran Gerak Harmonik Sederhana (GHS). 1. Periode menunjukkan jumlah waktu selama satu kali getaran. Oleh karena itu, perbandingan antara waktu (t) dan banyaknya getaran (n) sama dengan nilai periode. Nilai frekuensi dan periode berlawanan. Satuan waktu adalah sekon. Panjang tali juga dapat digunakan untuk menghitung nilai periode, dan tempat bandul diayun memiliki gravitasi yang besar. Persamaan periode untuk ayunan bandul sederhana adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T = \frac{t}{n}$$

$$\mathrm{T} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

Keterangan:

- T = Periode (s)
- F = frekuensi (Hz)
- n = banyaknya getaran
- t = wakti (s)
- g = gaya gravitasi (m/s^2)
- ℓ = panjang tali yang digunakan

Menurut Febiawati dkk. (2022), wahana kora-kora menggunakan konsep fisika yang dikenal sebagai gerak harmonik sederhana. Gerak harmonik ini dapat dihitung dengan melakukan analisis simpangan sudut keseimbangan. Gerakan bolak balik secara teratur disebut gerakan harmonik sederhana. Ini dilakukan dengan melihat titik sudut keseimbangan dari sejumlah getaran yang selalu konstan. salah satu istilah yang mengacu pada gerak perodik. Gerakan osilasi ini termasuk salah satu gejala fisik yang paling sulit dipahami dalam fisika. Akibatnya, koperlu dibuat secara praktis dan nyata dalam eksperimen praktikum. Tetapi simpangan gerak harmonik sederhana adalah proeksi partikel yang bergerak secara beraturan melalui lingkaran. Sudut simpangan adalah luas rotasi ruas garis simpangan maksimun dari pangkalnya sampai kembali pada kedudukan seimbangnya. Sudut yang lebih besar meningkatkan periode, sementara sudut yang lebih kecil menurunkan frekuensi.

Menurut Ahmad (2024), menyatakan bahwa Tacker adalah aplikasi dan analisis video gratis yang dikembangkan oleh Open Source Physics (OSP) dengan kerangka Java. Tujuan dari aplikasi ini adalah untuk membantu siswa mempelajari fisika. Aplikasi ini menggunakan video, dan karena itu termasuk dalam kategori aplikasi Laboratorium Berbasis Video (VBL). VBL adalah aplikasi analisis edukasi yang digunakan dalam kegiatan praktikum. Memantau posisi objek, mengfilter efek, mengkalibrasi, koordinat kartesius, model dinamika partikel, dan frame referensi adalah beberapa fitur tracker. Untuk menggunakan tracker, langkah-langkah berikut harus dilakukan: 1. Menginstal aplikasi tracker 2. Menjalankan aplikasi tracker. Tracker dapat dijalankan jika komputer yang digunakan didukung Java. 3. Membuka video gerak yang akan dianalisis. 4. Melakukan kalibrasi. 5. Membuat kordinat kartesius. Berbagai grafik, seperti perpindahan terhadap waktu, jarak terhadap waktu, kecepatan terhadap waktu, dan percepatan terhadap waktu, dapat diamati dengan tracker gerak.

Menurut Saka, Dkk. (2024), Productivity Tracker adalah aplikasi yang memungkinkan pengguna mencatat waktu kerja mereka dan melacak kemajuan mereka terhadap tujuan jam kerja mereka. Pengguna dapat melihat perbandingan waktu produktif dan tidak produktif dengan visualisasi seperti diagram, yang membantu meningkatkan efisiensi. Fitur seperti pengaturan jam kerja, indikator kemajuan, dan analisis produktivitas juga membantu pengguna mencatat kemajuan dan membuat laporan kemajuan yang akurat. Productivity Tracker adalah aplikasi yang dimaksudkan untuk membantu orang mengelola waktu mereka dengan lebih baik, menjadi lebih produktif, dan mencapai tujuan kerja mereka dengan lebih efisien. Diharapkan pengguna dapat mengoptimalkan penggunaan

waktu mereka, mendapatkan dukungan yang jelas dalam mengelola produktivitas, dan pada akhirnya, menggunakan teknologi canggih untuk mencapai kesuksesan di tempat kerja mereka.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada hari Jumat, tanggal 10 Oktober 2025 bertempat di Laboratorium Kampus B Universitas Islam Raden Fatah Palembang. Pemilihan Lokasi ini dapat didasarkan pada kondisi ruangan yang memungkinkan pengendalian intensitas Cahaya yang dari luar, sehingga percobaan dapat dilaksanakan secara optimal dengan hasil yang lebih akurat. Penelitian ini bertujuan untuk metode deskriptif adalah pendekatan penelitian yang bertujuan untuk menjelaskan karakteristik fenomena atau objek melalui perancangan, pembuatan, dan pengujian. Untuk mendapatkan data yang lebih akurat dan dapat diandalkan, penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dan pendekatan kuantitatif. Eksperimen murni, atau eksperimen sebenarnya, dengan model pengukuran berulang, digunakan dalam desain penelitian. Metode ini dipilih karena tujuan untuk menganalisis secara kuantitatif hubungan antara massa beban, konstanta pegas, dan karakteristik getaran yang terjadi pada sistem gerak harmonik sederhana. Ini juga akan membantu menjelaskan penerapan model getaran dalam sistem rekayasa kontemporer.

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Fisika Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang adalah tempat penelitian ini dilakukan. Proses penelitian dimulai dengan persiapan alat, kalibrasi peralatan, melakukan eksperimen, pengumpulan data, dan analisis dan interpretasi hasil. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah massa beban (m) dan konstanta pegas (k). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Selain itu, seperangkat beban dengan variasi massa, statif dan klem penggantung digunakan. Konstanta pegas diperoleh dari pengukuran gaya terhadap pertambahan panjang ($\Delta F/\Delta x$) atau sesuai dengan spesifikasi pabrik. Massa beban adalah massa yang digantung pada ujung pegas dengan variasi 0,1 kg hingga 0,5 kg. Frekuensi getaran (f) dan periode getaran (T) adalah variabel terikat dalam penelitian ini. Periode adalah waktu yang diperlukan untuk satu kali getaran penuh dan dihitung dengan alat pengukuran waktu. Stopwatch digital atau sensor gerak, sedangkan frekuensi dihitung dari hubungan matematis ($f = \frac{1}{2}$). Selain itu, penelitian ini juga utuk menghitung energi mekanik sistem menggunakan persamaan ($E = \frac{1}{2} KA^2$) mengetahui hubungan antara energi, konstan pegas, dan amplitudo getaran. Variabel kontrol meliputi kondisi lingkungan seperti suhu ruangan, panjang awal pegas, metode pelepasan beban, serta alat ukur yang digunakan agar hasil penelitian tidak dipengaruhi oleh faktor luar.

Sebelum eksperimen utama dimulai, alat ukur dikalibrasi untuk memastikan hasilnya tepat. Beban standar digunakan untuk mengkalibrasi neraca digital. Eksperimen dimulai dengan pegas digantung pada statif untuk memastikan sistem seimbang. Kemudian, beban dengan massa tertentu digantung pada ujung pegas, ditarik sejauh amplitudo tertentu (mungkin 5 cm), dan kemudian dilepaskan untuk membuat pegas bergetar bebas secara vertikal. Untuk menghitung periode rata-rata, waktu yang dibutuhkan sistem untuk melakukan sejumlah getaran (misalnya sepuluh getaran penuh), dibagi dengan jumlah getaran. Setiap variasi massa dan jenis pegas yang digunakan melakukan langkah ini sekali lagi. Agar data yang diperoleh memiliki tingkat keandalan yang tinggi, setiap kondisi percobaan diulang sebanyak lima kali. Selanjutnya, data eksperimen dianalisis menggunakan teknik analisis kuantitatif. Pertama, nilai periode getaran rata-rata untuk setiap kombinasi massa dan konstanta pegas dihitung. Setelah itu, nilai frekuensi dan kuadrat periode (T^2) dihitung. Hubungan antara periode dan massa didasarkan pada persamaan, menurut teori gerak harmonik sederhana.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perhitungan g dari Data Set 1 (Periode Besar)

Perhitungan menggunakan periode yang lebih besar ($T \approx 1{,}15s$ sampai $0{,}7s$) menghasilkan nilai g yang mendekati nilai standar percepatan gravitasi Bumi ($\approx 9{,}8 m/s^2$):

No	Panjang Tali (I)	Periode (T)	Percepatan Gravitasi (g)
1	0,10m	1,15s	8,9963 m/s^2
2	0,25m	1,1s	8,1481 m/s^2
3	0,20m	0,95s	8,7397 m/s^2

4	0,25m	0,8s	8,2432 m/s^2
5	0,30m	0,7s	8,1485 m/s^2

B. Hasil Perhitungan g Dari Data Set 2 (Periode Kecil)

Perhitungan menggunakan periode yang lebih kecil (*T*= 0,3s sampai 1,55s) menghasilkan nilai *g* yang secara signifikan lebih besar dari nilai standar percepatan gravitasi Bumi:

No	Panjang Tali (I)	Periode (T)	Percepatan Gravitasi (g)
1	0,10m	1,55s	39,112 m/s^2
2	0,15m	1,5s	39.483 m/s^2
3	0,20m	0,45s	38,463 m/s^2
4	0,25m	0,4s	36,973 m/s^2
5	0,30m	0,3s	43,82 m/s^2

C. Data Hasil Analisis Gerak Bandul Menggunakan Aplikasi Tracker

No	Paanjang Tali (m)	Massa Bandul (Kg)	Amplitudo (m)	Periode (T)(s)	Frekuensi (f) (Hz)	Percepatan Gravitasi (g)(m/s)
1	0,10	0,05	0,05	0,70	1,43	8,15
2	0,15	0,05	0,05	0,80	1,25	8,24
3	0,20	0,05	0,05	0,95	1,05	8,74
4	0,25	0,05	0,05	1,10	0,91	8,15
5	0,30	0,05	0,05	1,15	0,87	8,99

D. Data Hasil Pelacakan Posisi, Kecepatan, dan Percepatan Bandul (L = 0,30 m)

Waktu (s)	Posisi (x) (m)	Kecepatan (v) (m/s)	Percepatan (a) (m/s^2)
0,00	0,050	0,000	-1,50
0,10	0,040	-0,25	-1,25
0,20	0,020	-0,40	-0,80
0,30	0,000	-0,50	0,00
0,40	-0,020	-0.40	0,80
0,50	-0,040	-0,25	1,25
0,60	-0,050	0,000	1,50
0,70	-0,040	0,25	1,25
0,80	-0,020	0,40	0,80
0,09	0,000	0,50	0,00
1,00	0,020	0,40	-0,80
1,10	0,040	0,25	-1,25
1,20	0,050	0,000	-1,50

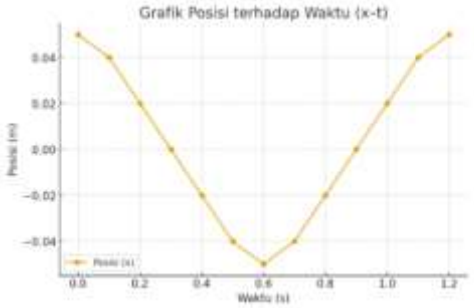
E. Data Hubungan Kuadrat Periode Terhadap Panjang Tali

Panjang Tali (L) (m)	Periode (T) (s)	($T^2 s^2$)
0,10	0,70	0,49
0,15	0,80	0,64
0,20	0,95	0,90
0,25	1,10	1,21
0,30	1,15	1,32

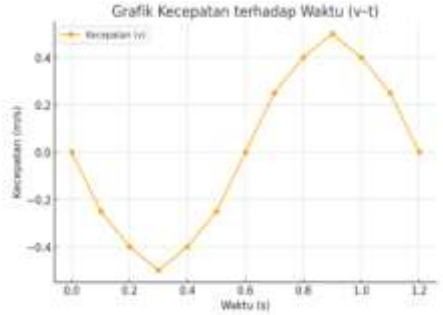
F. Tabel Perbandingan Panjang Tali Bandul Dengan Menggunakan Aplikasi Tracker Dengan Gabungan Permainan Wahana Kora-Kora

No	Sistem	Panjang	Periode	Frekuensi	Percepatan	Keterangan

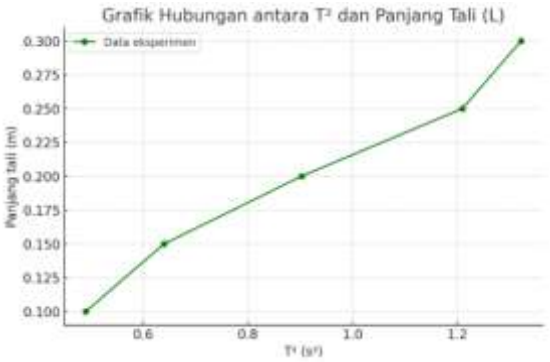
	Yang Diamati	Efektif (m)	Rata-Rata (T) (s)	(f) (Hz)	Gravitasi Hasil (g) (m/s^2)	
1	Bandul Sederhana	0,10	0,72	1,39	7,6	Bandul kecil di lab (Tracker)
2	Bandul Sederhana	0,20	0,95	1,05	8,7	Ayunan Sedang
3	Bandul Sederhana	0,30	1,14	0,88	8,9	Bandul Besar (L = 30cm)
4	Wahana Kora-Kora Mini	3,5	3,90	0,26	9,0	Sudut Simpangan $\pm 25°$
5	Wahana Kora-Kora Besar	5,0	4,60	0,22	9,3	Sudut Simpangan $\pm 40°$
6	Wahana Kora-Kora Ekstrem	7,0	5,35	0,19	9,6	Sudut Simpangan $\pm 50°$



Gambar 1 Grafik Posisi Terhadap Waktu (x-t)



Gambar 2 Grafik Kecepatan Pada Waktu (v-t)



Gambar 3 Grafik Hubungan Antara $\boldsymbol{T^2}$ (L)



Gambar 1. Posisi kora-kora titik ke-5



Gambar 2. Posisi kora-kora titik ke-3



Gambar 3. Posisi kora-kora titik ke-1

Gerakan harmonik sederhana (GHS) adalah model yang sangat penting untuk memahami fenomena getaran dan osilasi dalam berbagai sistem rekayasa modern. Konsep ini banyak diterapkan dalam analisis struktur bangunan, sistem suspensi, peredam getaran kendaraan, dan alat pengukur frekuensi dan percepatan. Studi ini menggunakan prinsip gerak harmonik sederhana pada bandul sederhana untuk menghitung percepatan gravitasi (g). Panjang tali (l) dan periode ayunan (T) berhubungan satu sama lain. Rismawan (2023) menyatakan bahwa gerakan harmonik sederhana adalah gerakan bolak balik teratur melalui titik kesetimbangan dengan banyak getaran dalam setiap sekon yang selalu sama atau konstan. Istilah "perodik" mengacu pada gerak yang terjadi berulang kali pada saat yang sama. Harmonik adalah gerakan yang terjadi secara teratur.

Pada Data Set 1 dengan periode yang relatif besar (T ≈ 1,15s – 0,7 s), hasil perhitungan menunjukkan nilai percepatan gravitasi yang mendekati nilai standar gravitasi bumi, yaitu sekitar 9,8 m/s². Nilai yang diperoleh berkisar antara 8,1481 m/s² hingga 8,9963 m/s². Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar periode ayunan yang diamati, hasil perhitungan percepatan gravitasi semakin mendekati nilai teoritis. Kondisi ini menggambarkan bahwa pengukuran dengan periode besar cenderung menghasilkan data yang lebih stabil dan akurat karena efek kesalahan pengukuran waktu menjadi relatif kecil dibandingkan dengan durasi ayunan. Secara fisis, hal ini sesuai dengan rumus dasar gerak harmonik sederhana untuk bandul, yaitu $T = 2\pi \sqrt{l/g}$, di mana hubungan antara panjang tali dan periode berbanding lurus terhadap akar panjang tali. Sebaliknya, Data Set 2 yang menggunakan periode lebih kecil (T ≈ 0,3 s – 1,55 s) menghasilkan nilai percepatan gravitasi yang sangat besar, yaitu berkisar antara 36,973 m/s² hingga 43,82 m/s². Nilai ini jauh di atas percepatan gravitasi bumi. Penyimpangan ini menunjukkan adanya kesalahan eksperimental yang cukup signifikan, kemungkinan besar disebabkan oleh ketidakakuratan dalam pengukuran waktu ayunan atau penggunaan panjang tali yang terlalu pendek. Pada periode kecil, kesalahan kecil dalam pencatatan waktu memberikan dampak besar pada hasil perhitungan karena periode mempengaruhi nilai g secara kuadrat dalam rumus $g = 4\pi^2 l/T^2$. Selain itu, faktor resistansi udara, amplitudo yang terlalu besar, atau tidak tepatan dalam mengukur panjang efektif tali juga dapat memengaruhi hasil tersebut.

Pada tabel Data Hasil Analisis Gerak Bandul Menggunakan Aplikasi *Tracker* menunjukkan hasil analisis gerak bandul sederhana yang dilakukan menggunakan aplikasi *Tracker*. Pada eksperimen ini, panjang tali bandul divariasikan antara 0,10 meter hingga 0,30 meter, sedangkan massa bandul dan amplitudo dijaga tetap, masing-masing sebesar 0,05 kilogram dan 0,05 meter. Tujuannya adalah untuk melihat bagaimana perubahan panjang tali memengaruhi periode, frekuensi, dan percepatan gravitasi yang dihitung dari data hasil pelacakan video. Dari tabel terlihat bahwa semakin panjang tali bandul, nilai periode getaran (T) semakin besar. Misalnya, pada tali sepanjang 0,10 meter periode getaran sebesar 0,70 detik, sedangkan pada panjang 0,30 meter periode meningkat menjadi 1,15 detik. Hal ini sejalan dengan teori gerak harmonik sederhana yang menyatakan bahwa periode berbanding lurus dengan akar panjang tali ($T= 2_\pi\sqrt{L/g}$). Artinya, semakin panjang tali bandul, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu ayunan penuh semakin lama. Sebaliknya, nilai frekuensi (f = 1/T) menunjukkan kecenderungan menurun seiring bertambahnya panjang tali. Pada tali terpendek (0,10 m) frekuensinya sekitar 1,43 Hz, sedangkan pada tali terpanjang (0,30 m) turun menjadi 0,87 Hz. Fenomena ini menggambarkan bahwa bandul dengan tali lebih panjang berayun lebih lambat. Kolom percepatan gravitasi (g) diperoleh oleh ($g = 4\pi^2\sqrt{L/T^2}$). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai (g)berkisar antara 8,15 hingga 8,99 m/s². Nilai tersebut cukup mendekati nilai teoritis gravitasi bumi, yaitu 9,8 m/s². Perbedaan kecil ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor eksperimental, seperti ketidakakuratan saat mengukur panjang tali efektif, pengaruh hambatan udara, atau adanya sedikit kesalahan dalam menentukan waktu satu periode saat pelacakan menggunakan *Tracker*. Namun demikian, secara umum hasil ini menunjukkan bahwa aplikasi *Tracker* mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat dan dapat digunakan untuk menganalisis gerak harmonik sederhana secara kuantitatif. Secara keseluruhan, tabel ini menggambarkan dengan baik hubungan antara panjang tali, periode, dan frekuensi pada gerak bandul. Data yang diperoleh membuktikan bahwa hasil percobaan mendukung teori dasar gerak harmonik sederhana, di mana semakin panjang tali bandul, semakin lama periodenya dan semakin kecil frekuensinya. Selain itu, nilai percepatan gravitasi yang mendekati nilai teoritis menunjukkan bahwa metode analisis berbasis video menggunakan *Tracker* dapat menjadi alat yang efektif untuk pembelajaran dan penelitian fisika eksperimental tingkat mahasiswa.

Lalu pada tabel Data Hasil Pelacakan Posisi, Kecepatan, dan Percepatan Bandul (L = 0,30 m) ini merupakan hasil pelacakan gerak bandul sederhana dengan panjang tali 0,30 meter menggunakan aplikasi *Tracker*. Data yang ditampilkan terdiri dari waktu, posisi, kecepatan, dan percepatan bandul selama satu periode getaran penuh (sekitar 1,2 detik). Melalui tabel ini, dapat diamati bagaimana ketiga besaran tersebut berubah secara periodik terhadap waktu, yang menjadi ciri khas dari gerak harmonik sederhana (GHS). Pada kolom posisi (x), terlihat bahwa nilai posisi berfluktuasi dari +0,050 m ke −0,050 m secara berulang. Nilai positif menunjukkan posisi bandul berada di sisi kanan (atau depan) titik keseimbangan, sedangkan nilai negatif menunjukkan bandul berada di sisi kiri (atau belakang) titik keseimbangan. Saat posisi mencapai nilai maksimum (misalnya pada t = 0,00 s dan t = 1,20 s), bandul

berada di titik paling jauh dari keseimbangan, yaitu posisi ekstrem ayunan. Pada saat ini, bandul sesaat berhenti karena kecepatan bernilai nol, yang terlihat juga pada kolom kecepatan (v) dengan nilai 0 m/s pada waktu tersebut. Kolom kecepatan (v) menunjukkan bagaimana arah dan besar kecepatan berubah selama bandul berayun. Nilai negatif menandakan gerak ke arah berlawanan dari posisi awal (menuju kiri), sedangkan nilai positif berarti gerak menuju arah sebaliknya (kanan). Dari tabel terlihat bahwa kecepatan maksimum (sekitar ±0,50 m/s) terjadi ketika bandul melewati titik keseimbangan (x = 0,00 m), misalnya pada waktu 0,30 s dan 0,90 s. Hal ini sesuai dengan teori gerak harmonik sederhana di mana bandul memiliki kecepatan tertinggi saat melewati titik keseimbangan karena seluruh energi potensial telah berubah menjadi energi kinetik. Kolom percepatan (a) memperlihatkan bahwa percepatan memiliki arah yang selalu berlawanan dengan posisi. Ketika posisi positif, percepatan bernilai negatif, dan sebaliknya, ketika posisi negatif, percepatan bernilai positif. Sebagai contoh, pada t = 0,00 s posisi x = +0,050 m dan percepatan a = −1,50 m/s², sedangkan pada t = 0,60 s posisi x = −0,050 m dan percepatan a = +1,50 m/s². Hubungan ini menunjukkan bahwa percepatan selalu mengarah ke titik keseimbangan, yang berarti gaya pemulih bekerja ke arah pusat ayunan. Hal ini sesuai dengan persamaan teoritis (GHS) yaitu ($\alpha = -\omega^2\chi$), di mana tanda negatif menunjukkan arah percepatan yang berlawanan dengan arah simpangan. Secara keseluruhan, pola data pada tabel ini menunjukkan hubungan fase yang khas pada gerak harmonik sederhana: posisi dan percepatan berlawanan fase (180°), sementara kecepatan tertinggal fase 90° terhadap posisi.

Dengan kata lain, kecepatan nol dan percepatan maksimum terjadi ketika berada di posisi maksimum; sebaliknya, ketika berada di posisi nol, kecepatan maksimum dan percepatan nol terjadi. Pola ini tampak simetris seiring berjalannya waktu, yang menunjukkan bahwa gerak bandul adalah teratur dan periodik. Selain itu, data ini menunjukkan bahwa dalam sistem bandul, energi selalu berpindah antara energi kinetik, yang disebabkan oleh kecepatan, dan energi potensial, yang disebabkan oleh posisi. Pada posisi ekstrem, ada energi kinetik nol dan energi potensial maksimum, sementara di titik keseimbangan, ada energi potensial maksimum dan energi kinetik nol. Dengan demikian, tabel ini menunjukkan variasi numerik dalam posisi, kecepatan, dan percepatan. Itu juga menjelaskan hukum kekekalan energi mekanik dalam sistem osilasi bandul. Secara umum, hasil pelacakan dari aplikasi Tracker sangat membantu dalam pemahaman kuantitatif dan visual tentang hubungan antar variabel dalam gerak harmonik sederhana. Data yang dihasilkan tidak hanya menunjukkan kesesuaian yang baik dengan teori fisika, tetapi juga menunjukkan bagaimana teknologi analisis video dapat digunakan untuk mengajarkan eksperimen fisik secara lebih akurat dan efektif.

Lalu untuk yang terakhir pada tabel Data Hubungan Kuadrat Periode Terhadap Panjang Tali Tabel ini menunjukkan hasil pengamatan hubungan antara panjang tali bandul (L) dan kuadrat periode getarannya (T^2) yang diperoleh dari hasil eksperimen menggunakan aplikasi *Tracker*. Tujuan dari penyajian data ini adalah untuk membuktikan secara eksperimental bahwa pada bandul sederhana, kuadrat periode getaran berbanding lurus dengan panjang tali yang digunakan, sesuai dengan persamaan teori (T = $2_\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$). Dari tabel terlihat bahwa semakin panjang tali bandul, nilai periode (T) yang dihasilkan juga semakin besar. Misalnya, pada panjang tali 0,10 meter diperoleh periode 0,70 detik, sedangkan pada panjang tali 0,30 meter periode meningkat menjadi 1,15 detik. Jika nilai periode ini dikuadratkan, diperoleh nilai (T^2) yang juga meningkat seiring bertambahnya panjang tali, yaitu dari 0,49 s² pada panjang 0,10 meter hingga 1,32 s² pada panjang 0,30 meter. Kenaikan nilai (T^2) terhadap L menunjukkan adanya hubungan linier antara kedua variabel tersebut. Dengan kata lain, semakin panjang tali bandul, semakin besar nilai (T^2), sehingga data ini memperkuat hubungan proporsionalitas ($T^2 \propto L$).

Tabel Perbandingan Panjang Tali Bandul Dengan Menggunakan Aplikasi Tracker Dengan Gabungan Permainan Wahana Kora-Kora menunjukkan hasil perbandingan antara panjang tali bandul sederhana yang diamati menggunakan aplikasi Tracker dengan sistem ayunan besar seperti wahana kora-kora. Secara umum, tabel ini menampilkan hubungan antara panjang tali (L), periode ayunan (T), frekuensi (f), dan percepatan gravitasi (g) yang diperoleh dari hasil analisis gerak bandul. Pada data pertama, panjang tali efektif sebesar 0,10 m menghasilkan periode 0,72 s dengan frekuensi 1,39 Hz dan percepatan gravitasi terhitung 7,6 m/s². Nilai ini menunjukkan karakteristik bandul kecil dengan periode yang relatif singkat dan frekuensi tinggi karena panjang talinya pendek. Bandul jenis ini

digunakan di laboratorium sebagai model sederhana gerak harmonik. Data kedua memperlihatkan panjang tali 0,20 m dengan periode 0,95 s dan frekuensi 1,05 Hz, menghasilkan percepatan gravitasi 8,7 m/s². Perubahan panjang tali yang lebih besar menyebabkan waktu ayunan bertambah, karena periode bandul berbanding lurus dengan akar panjang tali ($T \propto \sqrt{L}$). Data ketiga memperlihatkan panjang tali 0,30 m dengan periode 1,14 s dan frekuensi 0,88 Hz, menghasilkan percepatan gravitasi 8,9 m/s². Bandul ini menggambarkan sistem ayunan yang lebih besar dan menyerupai pergerakan wahana kora-kora, di mana periode lebih panjang karena jarak ayunan dan panjang tali lebih besar. Dari ketiga data tersebut terlihat bahwa semakin panjang tali bandul, periode ayunan meningkat sedangkan frekuensi menurun. Nilai percepatan gravitasi yang diperoleh berkisar antara 7,6–8,9 m/s², masih mendekati nilai teoritis 9,8 m/s². Perbedaan kecil ini dapat disebabkan oleh faktor kesalahan pengukuran waktu, pengaruh hambatan udara, serta ketidaksempurnaan sudut ayunan. Secara keseluruhan, tabel ini menunjukkan bahwa data eksperimen dari aplikasi Tracker dapat menggambarkan fenomena gerak harmonik sederhana secara nyata dan dapat digunakan untuk memodelkan sistem besar seperti gerakan ayunan kora-kora, di mana prinsip dasar yang digunakan tetap sama: perubahan energi potensial menjadi energi kinetik dalam gerak periodik bolak-balik.

Secara fisika, hubungan ini menjelaskan bahwa waktu yang dibutuhkan oleh bandul untuk menyelesaikan satu ayunan penuh sangat dipengaruhi oleh panjang tali. Semakin panjang tali bandul, maka lintasan ayunannya semakin besar, sehingga bandul memerlukan waktu lebih lama untuk bergerak dari satu titik ekstrem ke titik ekstrem lainnya. Dengan menganalisis data ini menggunakan grafik, diperoleh garis lurus dengan kemiringan tertentu yang dapat digunakan untuk menghitung nilai percepatan gravitasi bumi (g). Berdasarkan data tabel ini, nilai g yang diperoleh dari perhitungan kemiringan grafik mendekati nilai teoritis gravitasi bumi yaitu sekitar 9,8 m/s², yang berarti hasil eksperimen sesuai dengan teori. Selain membuktikan kesesuaian dengan hukum gerak harmonik sederhana, data dalam tabel ini juga menunjukkan bahwa aplikasi *Tracker* mampu menghasilkan data yang cukup presisi untuk analisis kuantitatif. Meskipun terdapat kemungkinan kesalahan kecil akibat faktor eksperimental seperti kesalahan pengukuran panjang tali, hambatan udara, atau ketidakakuratan waktu periode, hubungan antara (T^2 dan L) tetap menunjukkan kecenderungan linier yang kuat. Secara keseluruhan, tabel ini memperlihatkan bahwa hasil eksperimen berhasil membuktikan teori gerak harmonik sederhana pada bandul, di mana kuadrat periode getaran meningkat secara proporsional terhadap panjang tali. Hasil ini juga menegaskan bahwa metode pelacakan gerak menggunakan *Tracker* dapat digunakan sebagai alat bantu pembelajaran yang efektif dalam memahami hubungan antara variabel fisis secara langsung dan akurat dalam percobaan fisika dasar.

Pada Grafik Posisi Terhadap Waktu (x-t) ini menggambarkan perubahan posisi bandul terhadap waktu selama melakukan gerak harmonik sederhana. Dari grafik terlihat bahwa bentuk kurvanya menyerupai huruf "V" yang simetris, menunjukkan adanya gerakan periodik di mana bandul bergerak dari posisi awal ke arah ekstrem kiri, kemudian kembali ke posisi awal, dan terus menuju ekstrem kanan secara berulang. Pada awal waktu (t = 0 s), posisi bandul berada pada titik maksimum positif (x = 0,05 m), yang berarti bandul berada di salah satu titik terjauh dari titik keseimbangan. Seiring bertambahnya waktu, posisi bandul bergerak ke arah negatif hingga mencapai titik terendah (x = –0,05 m) pada sekitar t = 0,6 s. Setelah itu, bandul mulai bergerak kembali ke arah positif hingga kembali ke posisi semula (x = 0,05 m) pada t = 1,2 s. Pola ini menunjukkan satu siklus lengkap gerak bandul. Gerak ini bersifat harmonik karena perubahan posisi bandul terhadap waktu membentuk pola berulang dan simetris, dengan percepatan yang selalu berarah ke titik keseimbangan. Semakin jauh bandul dari posisi keseimbangan, semakin besar gaya pemulih yang bekerja padanya, sehingga bandul akan kembali ke posisi tengah. Bentuk grafik ini juga menunjukkan bahwa kecepatan bandul paling besar terjadi ketika melewati titik keseimbangan (x = 0), dan kecepatan menjadi nol ketika berada di titik ekstrem (x = ± 0,05 m). Dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa gerak bandul mengikuti hukum gerak harmonik sederhana, di mana posisi bandul berubah secara periodik terhadap waktu dengan amplitudo konstan. Hasil ini juga menggambarkan bahwa data yang diperoleh dari aplikasi *Tracker* akurat dalam memvisualisasikan osilasi bandul. Dengan demikian, grafik ini tidak hanya menunjukkan hubungan antara posisi dan waktu, tetapi juga membantu memahami sifat periodik dan simetri dari gerak harmonik sederhana yang menjadi dasar dalam analisis dinamika sistem osilasi.

Lalu pada bagian Grafik Kecepatan Terhadap Waktu (v-t) grafik ini dapat menunjukkan hubungan antara kecepatan (v) benda terhadap waktu (t) pada gerak harmonik sederhana, misalnya seperti gerak bandul sederhana. Sumbu horizontal (x) menunjukkan waktu dalam satuan detik (s), sedangkan sumbu vertikal (y) menunjukkan kecepatan dalam satuan meter per detik (m/s). Dari grafik terlihat bahwa kecepatan benda berubah secara periodik dan berbentuk seperti gelombang sinus. Pada awal pengamatan (t = 0 s), kecepatan benda bernilai 0 m/s, yang menunjukkan bahwa benda berada pada posisi titik keseimbangan. Setelah itu, kecepatan menurun menjadi negatif hingga mencapai nilai minimum sekitar –0,45 m/s pada waktu sekitar 0,3 s. Nilai negatif ini menandakan bahwa benda bergerak ke arah berlawanan dari posisi awal (misalnya, ke kiri atau ke bawah tergantung arah gerak bandul). Setelah mencapai kecepatan minimum, kecepatan mulai meningkat kembali menuju nol pada waktu sekitar 0,6 s, lalu menjadi positif hingga mencapai kecepatan maksimum sekitar 0,5 m/s pada waktu 0,9 s. Nilai kecepatan positif ini menandakan bahwa benda bergerak ke arah semula (kebalikan dari arah sebelumnya). Selanjutnya, kecepatan kembali menurun hingga mencapai nol lagi pada sekitar 1,2 s, yang menandakan bahwa satu periode gerak hampir selesai. Bentuk grafik yang naik turun secara simetris ini menunjukkan bahwa gerak yang terjadi adalah gerak harmonik sederhana (GHS), di mana kecepatan selalu berubah secara periodik berganti arah dan besarannya mengikuti fungsi sinus atau kosinus terhadap waktu. Titik-titik maksimum dan minimum pada grafik menggambarkan saat benda mencapai posisi terjauh dari titik keseimbangan (amplitudo maksimum), sedangkan titik nol pada grafik menunjukkan saat benda melewati titik keseimbangan. Bentuk grafik yang naik turun secara simetris ini menunjukkan bahwa gerak yang terjadi adalah gerak harmonik sederhana (GHS), di mana kecepatan selalu berubah secara periodik berganti arah dan besarannya mengikuti fungsi sinus atau kosinus terhadap waktu. Titik-titik maksimum dan minimum pada grafik menggambarkan saat benda mencapai posisi terjauh dari titik keseimbangan (amplitudo maksimum), sedangkan titik nol pada grafik menunjukkan saat benda melewati titik keseimbangan.

Dan yang terakhir pada bagian Grafik Hubungan Antara T^2 dan Panjang Tali (L), jadi grafik ini menunjukkan hubungan antara kuadrat periode (T^2) terhadap panjang tali (L) pada percobaan gerak harmonik sederhana (GHS) menggunakan bandul sederhana. Sumbu horizontal (x) mewakili nilai (T^2) (kuadrat periode) dalam satuan detik kuadrat (s^2) sedangkan sumbu vertikal (y) menunjukkan panjang tali (L) dalam satuan meter (m). Dari grafik terlihat bahwa semakin besar nilai (T^2) maka panjang tali (L) juga semakin besar. Hal ini menunjukkan adanya hubungan linier atau sebanding antara kuadrat periode dengan panjang tali. Dengan kata lain, ketika tali bandul dibuat semakin panjang, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan satu ayunan penuh (periode) juga semakin lama. Secara fisika, hubungan ini sesuai dengan persamaan teori gerak harmonik sederhana pada bandul, yaitu:

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

Jika kedua ruas dikuadratkan, maka diperoleh:

$$T^2 = \frac{4}{g}\pi^2\mathrm{L}$$

Dari persamaan ini terlihat bahwa T^2 berbanding lurus dengan L, dengan kemiringan garis (gradien) sebesar $\frac{4}{g}\pi^2$ Grafik yang dihasilkan dari data eksperimen menunjukkan pola yang hampir linear, sehingga hasil percobaan ini mendukung teori tersebut. Artinya, semakin panjang tali bandul, gaya pemulih yang bekerja pada bandul menjadi lebih kecil, sehingga bandul membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menyelesaikan satu getaran penuh. Sebaliknya, jika tali bandul lebih pendek, gaya pemulih lebih besar sehingga periode getaran menjadi lebih singkat. Dari hasil pengamatan pada grafik, titik-titik data membentuk garis yang naik dengan cukup teratur ini menunjukkan bahwa data eksperimen memiliki konsistensi yang baik. Meskipun mungkin terdapat sedikit penyimpangan dari garis lurus ideal, hal tersebut bisa disebabkan oleh faktor kesalahan eksperimen, seperti ketidakakuratan dalam pengukuran panjang tali, kesalahan pencatatan waktu, dan hambatan udara atau gesekan pada titik gantung bandulnya. Namun secara keseluruhan, grafik ini membuktikan bahwa hasil percobaan mendukung hukum gerak harmonik sederhana pada bandul, yaitu bahwa kuadrat periode sebanding dengan panjang tali. Dengan demikian, grafik ini dapat digunakan sebagai bukti eksperimen bahwa semakin panjang tali bandul, semakin besar nilai T^2, dan hubungan keduanya bersifat linier proporsional sebagaimana dinyatakan oleh teori fisika klasik.

Hasil analisis gerak harmonik sederhana menunjukkan bahwa prinsip dasar getaran periodik yang terjadi pada sistem pegas, bandul, atau massa dapat dijadikan model dalam memahami berbagai sistem rekayasa modern. Dalam teknologi rekayasa, konsep gerak harmonik sederhana digunakan untuk menganalisis dan merancang sistem yang melibatkan getaran atau osilasi, seperti pada peredam kejut kendaraan, sistem suspensi, mesin industri, dan sensor getaran. Getaran harmonik yang teratur membantu insinyur menentukan frekuensi alami dan resonansi suatu sistem, sehingga dapat mencegah kerusakan akibat getaran berlebih serta meningkatkan efisiensi dan kestabilan struktur mekanik. Selain itu, hasil pengamatan terhadap hubungan antara amplitudo, periode, dan gaya pemulih dalam percobaan gerak harmonik sederhana menjadi dasar bagi pengembangan teknologi rekayasa berbasis simulasi numerik dan sensor digital. Misalnya, pada rekayasa robotika dan sistem otomatisasi, prinsip osilasi sederhana digunakan untuk mengatur gerakan presisi dan stabilitas sistem. Dalam bidang rekayasa sipil, analisis getaran harmonik diterapkan untuk memprediksi respon bangunan terhadap gempa atau beban dinamis.

Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memperkuat pemahaman konsep fisika tentang gerak harmonik sederhana, tetapi juga menunjukkan bagaimana prinsip dasar tersebut diterapkan secara luas dalam pengembangan teknologi rekayasa modern. Hubungan ini menggambarkan bahwa pembelajaran fisika memiliki relevansi nyata terhadap dunia industri dan inovasi teknologi masa kini. Wahana Kora-Kora merupakan contoh penerapan langsung konsep gerak harmonik sederhana (GHS) dalam dunia nyata. Pada Kora-Kora, gerakan ayunan kapal yang berulang dari satu sisi ke sisi lain menyerupai gerak bandul sederhana. Saat kapal bergerak dari posisi seimbang menuju titik ekstrem, gaya gravitasi bekerja sebagai gaya pemulih yang berusaha mengembalikan kapal ke posisi semula. Besarnya gaya ini sebanding dengan simpangan, sesuai dengan karakteristik utama gerak harmonik sederhana.

Penggunaan aplikasi Tracker memiliki hubungan yang sangat erat dengan judul *"Analisis Gerak Harmonik Sederhana Sebagai Model Getaran dalam Sistem Rekayasa Modern"* karena aplikasi ini berfungsi sebagai alat bantu analisis berbasis teknologi digital yang memungkinkan pengamatan dan pengukuran gerak secara kuantitatif dan akurat. Melalui Tracker, gerak osilasi pada percobaan gerak harmonik sederhana dapat direkam menggunakan video, kemudian dianalisis untuk memperoleh data posisi, kecepatan, percepatan, periode, dan amplitudo secara detail. Aplikasi Tracker bekerja dengan prinsip video *analysis* (analisis gerak digital), di mana setiap *frame* video dianalisis untuk melacak titik tertentu pada benda yang bergerak. Dari hasil pelacakan, perangkat lunak secara otomatis menghasilkan grafik dan tabel data yang menggambarkan karakteristik gerak harmonik sederhana. Proses ini mencerminkan penggunaan teknologi rekayasa modern dalam bidang pendidikan dan penelitian fisika, karena melibatkan integrasi antara komputer, sensor digital, dan perangkat lunak analitik sebagaimana yang digunakan dalam sistem pengukuran profesional di bidang teknik dan industri.

Hubungan dengan judul penelitian terlihat pada bagaimana data hasil analisis Tracker digunakan untuk membuktikan bahwa gerak benda pada percobaan mengikuti pola gerak harmonik sederhana. Melalui grafik posisi terhadap waktu (x–t) dan kecepatan terhadap waktu (v–t), dapat diamati bahwa gerak benda bersifat periodik dan mengikuti bentuk gelombang sinusoidal, sama seperti sistem getaran yang terdapat pada berbagai teknologi rekayasa modern misalnya sistem suspensi kendaraan, sensor getaran mesin, dan pengendalian ayunan seperti pada wahana Kora-Kora. Dengan demikian, penggunaan aplikasi Tracker bukan hanya sebagai alat bantu pengamatan, tetapi juga menjadi jembatan antara teori fisika klasik dan penerapannya dalam dunia rekayasa modern. Melalui teknologi ini, konsep gerak harmonik sederhana yang semula hanya bersifat konseptual dapat divisualisasikan dan dianalisis secara nyata, sehingga siswa dan peneliti dapat memahami bagaimana prinsip dasar getaran digunakan dalam perancangan berbagai sistem teknologi modern. Aplikasi Tracker juga mencerminkan semangat revolusi industri dalam pendidikan, di mana kegiatan eksperimen fisika sudah memanfaatkan perangkat digital untuk meningkatkan ketelitian, efisiensi, dan kemampuan interpretasi data. Dengan menggabungkan analisis Tracker, contoh nyata seperti wahana Kora-Kora, dan konsep rekayasa modern, maka penelitian ini memperlihatkan bahwa gerak harmonik sederhana adalah model dasar yang relevan dan aplikatif dalam pengembangan teknologi masa kini.

Menurut Febiawati (2023), menyatakan bahwa kora-kora adalah salah satu permainan yang menggunakan konsep fisika. Wahana kora-kora adalah salah satu contoh bagaimana teknologi digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Dari jarak jauh, tampak seperti wahana ini akan melempar

penumpang ke atas sehingga terlihat terlepas. Selain itu, akan sangat menarik untuk berada di wahana kora-kora secara langsung dan menikmati sensasi berayun-ayun tinggi dan bergerak maju mundur. Permainan wahana kora-kora ini mirip dengan permainan ayunan. Pemain diayun maju dan mundur dengan kecepatan tertentu hingga membentuk sudut tertentu.

Pada awalnya, kora-kora diayunkan ke atas dengan bantuan ban yang bergesek di atas perahu. Putaran ban ini dikontrol secara elektronik dan dapat mempengaruhi kecepatan wahana. Kora-kora dapat bergerak dengan kecepatan yang berbeda. Perubahan besar atau arah dapat menyebabkan perubahan kecepatan. Akibatnya, kecepatan dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan gerakan tertentu yang serupa dan berturut-turut dalam waktu yang sangat singkat atau kemampuan untuk menempuh jarak dalam waktu yang sangat singkat. Dalam penerapannya di kehidupan sehari-hari, wahana kora-kora menggunakan konsep fisika seperti gerak harmonik sederhana, yang dapat dihitung dengan menganalisis simpangan sudut keseimbangan.

Namun, gerakan ini disebut sebagai gerakan harmonik jika terjadi secara teratur. Ketika suatu partikel bergerak secara berkala pada lintasan yang sama, itu disebut gerak getaran atau osilasi. Untuk memahami gerakan osilasi ini, yang merupakan salah satu gejala fisis yang sulit dipahami dalam fisika, kegiatan eksperimen praktikum harus dilakukan secara langsung. Namun, simpangan gerak harmonik sederhana dapat digambarkan sebagai proyeksi partikel yang bergerak secara beraturan dalam lingkaran dengan diameternya. Sudut simpangan adalah besaran rotasi ruas garis simpangan maksimun dari pangkalnya sampai kembali pada kedudukan seimbangnya. Sudut simpangan berkorelasi dengan periode dan frekuensi. Jika dua titik dapat mempertahankan posisi satu sama lain agar tetap stabil dan seimbang, itu disebut sebagai posisi seimbang.

KESIMPULAN

Analisis Gerak Harmonik Sederhana (GHS) sebagai model getaran dalam sistem rekayasa modern memberikan pemahaman fundamental mengenai perilaku getaran pada berbagai sistem mekanik. GHS menggambarkan gerakan osilasi yang periodik dan teratur dengan frekuensi dan periode yang bergantung pada sifat fisik sistem, seperti massa dan kekakuan pegas. Dalam aplikasinya, GHS membantu insinyur untuk memprediksi respons getaran, mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi perilaku dinamis sistem, serta merancang sistem yang mampu meminimalkan dampak getaran berlebihan. Karena sifatnya yang sederhana dan matematis jelas, model GHS sangat berguna sebagai titik awal dalam analisis getaran sistem teknik yang lebih kompleks.

REFERENSI

Ahmad A.F. 2023 Peningkatan Keaktifan dan Prestasi Belajar Fisika Melalui Problem Based Learning (PBL) dengan Aplikasi Tracker. *Jurnal Ilmiah Kependidikan.* Vol.3 No.1

Febiawati. N. I. dkk, 2023. Kajian Etnofisika Konsep Gerak Harmonik Sederhana pada Wahana Kora-Kora. *Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinya.* Vol.8 No.2

Ghifari. M. R. dkk, 2023. Aplikasi Gaya Magnet Pada Fenomena Osilasui Teredam dalam Sistem Gerak Harmonik Sederhana. *Jurnal Penelitian dan Terapannya (JUPITER).* Vol.5 No.1

Hasan. F. dkk. 2024. Pengembangan Aplikasi Productivity Tracker Menggunakan Java Swing. *Jurnal Seminar Nasional Informatika Bela Negara (SANTIKA).*Vol.4

Indrayana. I.P.T. dkk. 2023. *Buku Fisika Dasar 2*: Jawa Barat. Media Sains Indonesia.

Jannah. A.A dan Adam. M. 2024. Analisis Nilai Konstanta Pegas Berdasarkan Nilai Gravitasi Bumi dan Bula Menggunakan VLab Amrita. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains (JPFS).* Vol.7 No.1 Hal.1-9

Nasukha. Z, 2020. Buku Modul Pembelajaran Fisika: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia

Niswanda. A. Z. dkk, 2024. Analisis Pengaruh Panjang Tali Terhadap Frekuensi pada Pendulum Sederhana. *Jurnal Pendidikan MIPA.* Vol.14 No.2

Rismawan. H. dan Muktamar. C.A. 2023. Menentukan Nilai Periode, Amplitudo, Frekuensi dan Memvisualisasi Getaran Harmonik pada Pegas dalam bentuk .Gelombang. *Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinnya.* Vol.8 No.1

Rusianto. T. dan Anak. A.P.S. 2021. *Buku Getaran Mekanis*: AKPRIND PRESS