

INOVASI DESAIN PERCOBAAN AYUNAN FISIS DALAM PENENTUAN BESAR PERCEPATAN GRAVITASI

Ghaniya Latifa¹, Arisamiya Latifa Az-Zahra², Septiko Aji^{3*}, Prasetyo Listiaji⁴

^{1,2,3}Universitas Negeri Semarang, Kota Semarang

⁴University of Szeged, Hungary

*Email korespondensi: septikoaji@mail.unnes.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur percepatan gravitasi bumi menggunakan metode ayunan fisis. Desain percobaan ini menggunakan batang besi homogen yang digantungkan pada statif dengan cara mengikat kedua ujungnya dengan benang. Getaran dihasilkan dengan memberi simpangan di kedua ujung besi dengan titik poros di pusat massanya. Desain percobaan tersebut mereduksi kesalahan yang terjadi pada percobaan bandul yang sering terjadi karena ayunan yang tidak sempurna. Periode dihasilkan dengan memvariasi panjang tali. Hasil analisis data menunjukkan nilai percepatan gravitasi rata-rata sebesar $(9,77 \pm 0,085) \text{ m/s}^2$. Hasil tersebut sedikit berbeda dari nilai referensi $9,8 \text{ m/s}^2$. Perbedaan ini disebabkan oleh lokasi geografis yang dekat ekuator dan berada pada ketinggian 245 meter, serta kesalahan teknis dalam pengukuran seperti ketidaktepatan waktu, ketidakstabilan tali, dan pengaruh lingkungan. Meskipun terdapat variasi dalam metode pengukuran, prinsip dasar hubungan antara periode ayunan dan panjang tali tetap berlaku, menunjukkan bahwa percepatan gravitasi dapat dihitung dengan akurat asalkan variabel teknis dan lingkungan diperhitungkan dengan hati-hati. Dari hasil tersebut dapat diketahui desain percobaan ayunan fisis menambah inovasi metode penentuan besar percepatan gravitasi.

Kata kunci: Desain Praktikum; Ayunan Fisis; Percepatan Gravitasi

PENDAHULUAN

Pengetahuan mengenai percepatan gravitasi bumi diperoleh melalui berbagai pengukuran dan eksperimen yang dilakukan untuk memahami fenomena alam di sekitar kita. Nilai percepatan gravitasi berbeda-beda di berbagai tempat di permukaan bumi, namun sesuai dengan yang dinyatakan oleh Giancoli (2014) nilai umumnya adalah sebesar $9,831 \text{ m/s}$. Jari-jari bumi yang tidak seragam mengakibatkan variasi dalam percepatan gravitasi. Selain itu, kondisi suatu lokasi atau wilayah di bumi juga dapat mempengaruhi percepatan gravitasi karena berbagai faktor, seperti garis lintang, rotasi bumi, serta kondisi geologi seperti kepadatan batuan dan kerapatan lateral (Sabri et al., 2024).

Percepatan gravitasi adalah percepatan yang dialami oleh suatu benda karena pengaruh gaya gravitasi. Percepatan gravitasi ini berarti bahwa setiap detik, kecepatan benda yang jatuh bebas akan bertambah sebesar 9.8 m/s^2 ke arah pusat bumi, asalkan tidak ada hambatan udara atau gaya lain yang bekerja pada benda tersebut (McDouglas & McDouglas, 2012). Sesuai dengan yang dinyatakan oleh Giancoli (2014), persamaan yang umum digunakan untuk mendapat percepatan gravitasi di suatu tempat adalah

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

Dengan F merupakan gaya tarik menarik antara dua benda bermassa yang dilambangkan dengan m_1 dan m_2 , G adalah tetapan gravitasi dan r merupakan jarak antara pusat massa kedua benda tersebut.

Pada materi fisika, percobaan ayunan banyak dikaji karena gerakannya dipengaruhi oleh gravitasi bumi. Percobaan ayunan matematis dapat digunakan penentuan percepatan gravitasi (Suciarahmat, & Pramudya, 2015). Ayunan matematis merupakan ayunan dari titik massa yaitu bandul bermassa yang diikat dengan tali. Untuk mendapatkan hasil percepatan gravitasi yang akurat diperlukan osilasi yang harmonis pada bandul, karena itulah diperlukan massa benang yang jauh lebih kecil dari massa bandul. Selain itu, persyaratan lainnya antara lain simpangan dan gesekan udara dari bandul harus kecil dan juga tidak boleh terdapat gaya sentrifugal yang menyebabkan pergerakan bandul memutar (Kitchin, 2021). Persamaan yang umumnya digunakan disini menurut Tipler (2013) adalah

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

Dimana T merupakan periode ayunan, l adalah panjang tali dalam satuan cm, dan g adalah percepatan gravitasi dengan satuan m/s^2 .

Selain itu, ayunan fisis juga dapat digunakan untuk menentukan besar percepatan gravitasi. Ayunan fisis ini melibatkan pendulum fisik, yaitu benda kaku yang dapat berayun pada titik poros tertentu. Berbeda dari pendulum matematis yang dapat dianggap sebagai sebuah benda titik yang berayun, pendulum fisis dapat memiliki distribusi massa yang sangat kompleks (Herkulanus et al., 2021). Percobaan ayunan fisis diawali dengan menggantungkan benda kaku (seperti batang atau cakram) pada titik tertentu sehingga benda tersebut dapat berayun bebas. Kemudian, panjang efektif pendulum dari titik poros ke pusat massa benda diukur. Setelah itu, pendulum diberi simpangan kecil dan dilepaskan sehingga berayun bolak-balik. Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan satu ayunan penuh (periode) diukur menggunakan *stopwatch*. Pengukuran ini diulangi beberapa kali untuk mendapatkan nilai periode rata-rata yang lebih akurat (Yuningsih et al., 2020).

Percobaan ayunan fisis ini juga mempertimbangkan momen inersia. Momen inersia pada ayunan fisis adalah ukuran sejauh mana benda menolak percepatan sudut ketika berayun pada titik poros tertentu. Momen inersia tergantung pada distribusi massa benda relatif terhadap titik poros. Untuk menghitung momen inersia, kita perlu mempertimbangkan bentuk dan massa benda serta posisi titik poros (Schorah, 2015). Cross & Nathan (2009) memberikan beberapa

persamaan untuk beberapa benda yang berbeda-beda. Salah satunya adalah momen inersia untuk batang homogen yang berayun dengan titik poros di tengah dapat disajikan dengan persamaan

$$I = \frac{1}{12}mL^2 \quad (3)$$

Dimana I adalah momen inersia (kgm^2), m adalah massa batang (kg) dan L adalah panjang batang itu sendiri (m).

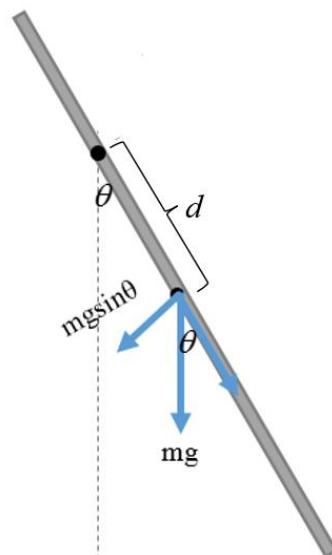
Baik ayunan matematis dan ayunan fisis dalam kenyataannya banyak ditemui kesalahan yang terjadi saat melakukan percobaan. Hasil observasi di perkuliahan Fisika Dasar I semester Gasal 2024 masih ditemukan praktikan merasa kesusahan untuk menghasilkan ayunan harmonis yang sebenarnya. Tentu saja percobaan yang tidak sesuai akan menghasilkan data yang tidak akurat. Sehingga perlu adanya desain rancangan percobaan ayunan untuk mereduksi kesalahan tersebut.

Desain percobaan ayunan fisis dari batang homogen yang bergetar secara horizontal memiliki potensi untuk mereduksi kesalahan pada percobaan ayunan (getaran vertikal). Dalam konfigurasi ini, batang dapat bergetar seperti pendulum dengan titik tumpu di tengah panjang batang, sehingga kedua sisi batang berayun simetris terhadap titik tumpu (Beatty & Beatty, 2006). Besaran periode akan dihasilkan saat besaran panjang tali divariasikan. Oleh karena itu, dalam artikel ini bertujuan mendesain percobaan ayunan fisis dalam upaya menambah inovasi percobaan fisika terutama dalam menentukan besar percepatan gravitasi bumi.

METODE PENELITIAN

Tinjauan Teoritis

Pada dasarnya semua benda yang berayun disebut ayunan fisis (Halliday, 2011). Bandul fisis merupakan perluasan dari bandul sederhana, yang hanya terdiri dari tali tak bermassa yang digantungi sebuah partikel tunggal (Khanafiyah, 2009). Benda tegar yang memiliki distribusi massa dan berayun terhadap sumbu yang melewati benda tersebut disebut ayunan fisis. Ayunan fisis sederhana pada batang homogen dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



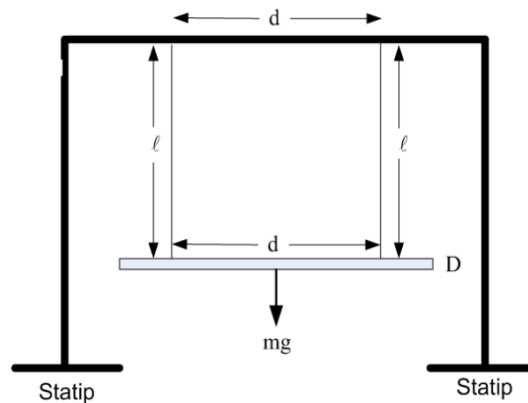
Gambar 1. Ayunan fisis pada batang homogen

Periode ayunan batang homogen yang memiliki momen inersia I dapat ditentukan dengan menurunkan dari Hukum II Newton hingga diperoleh

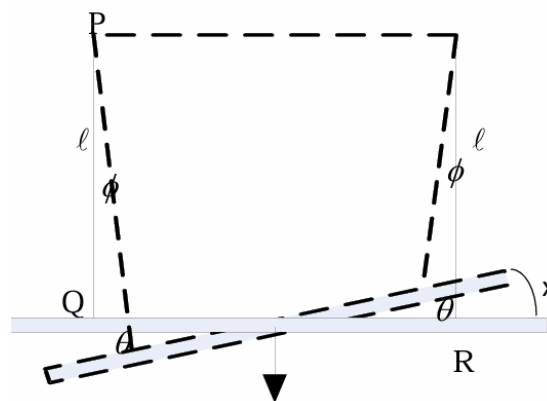
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}} \quad (4)$$

Percobaan ayunan fisis tersebut umumnya digunakan untuk menentukan besar percepatan gravitasi dengan memvariasi jarak d dan menghasilkan periode T yang berbeda-beda.

Desain Percobaan untuk menentukan besar percepatan gravitasi dengan memanfaatkan ayunan fisis dapat dilakukan melalui banyak cara. Gambar 2 menunjukkan desain percobaan ayunan fisis yang dapat dilakukan untuk menentukan besar percepatan gravitasi. Rancangan percobaan menggunakan batang besi homogen yang digantungkan dengan mengikat dengan benang pada kedua ujungnya. Getaran harmonis akan terjadi jika menyimpangkan dengan sudut kecil θ dan memilih titik poros berada di pusat massa batang seperti pada Gambar 3.



Gambar 2. Desain percobaan ayunan fisis



Gambar 3. Getaran pada desain percobaan ayunan fisis

Persamaan gerak diturunkan melalui Hukum II Newton sehingga diperoleh persamaan gerak orde 2 yang merupakan persamaan gerak harmonis sederhana, yaitu:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{mgd^2}{4Il} \theta = 0 \quad (5)$$

Solusi dari persamaan tersebut adalah ditentukan frekuensi sudut ω ,

$$\omega^2 = \frac{mgd^2}{4Il} \quad (6)$$

Karena $\omega = \frac{2\pi}{T}$ dan momen inersia batang homogen $I = \frac{1}{12} mL^2$ maka,

$$T^2 = \frac{4\pi^2 L^2}{3gd^2} l \quad (7)$$

Dengan melakukan variasi panjang tali l , diperoleh data periode T untuk setiap panjang tali tersebut. Data panjang tali l dan periode T kemudian dapat diolah untuk membentuk persamaan berikut:

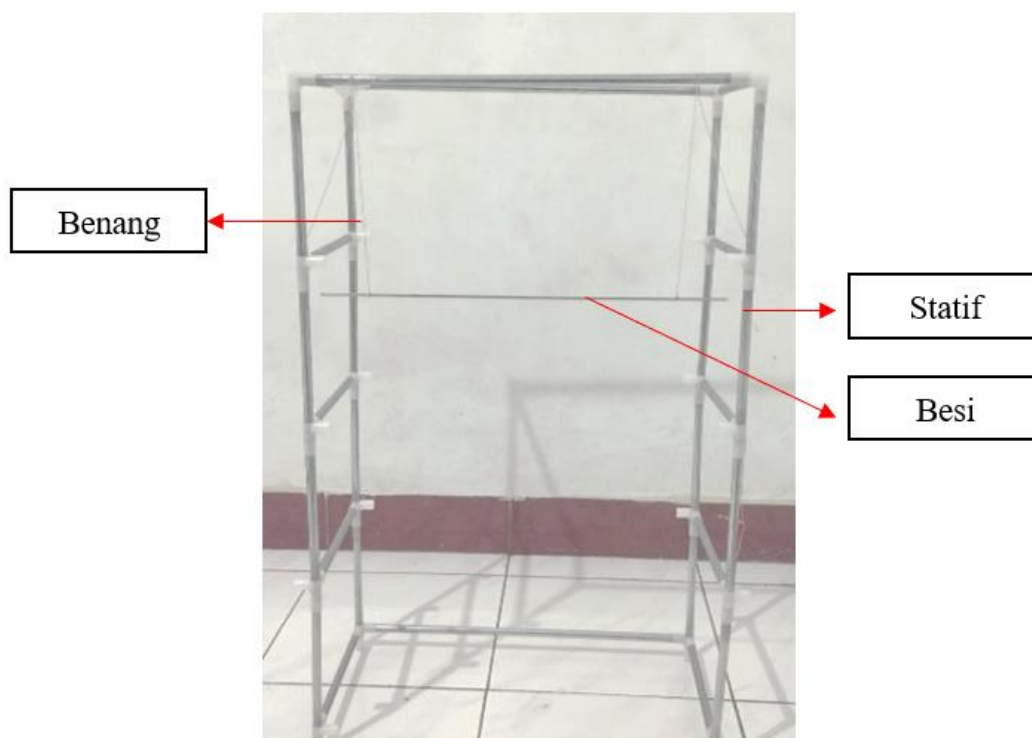
$$y = m \cdot x \quad (8)$$

Dimana $T^2 = y$, $l = x$, dan $m = \frac{4\pi^2 L^2}{3gd^2}$ maka besar percepatan gravitasi slope grafik T^2 terhadap l sesuai persamaan:

$$g = \frac{4\pi^2 L^2}{3d^2 \tan \alpha} \quad (9)$$

Prosedur Praktikum

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimen. Alat dan bahan yang diperlukan pada eksperimen ini adalah *stopwatch* yang ada pada *smartphone*, benang, besi sebagai statif, satu buah besi sebagai bandul, dan juga busur. Masing-masing alat dan bahan dirangkai menjadi rangkaian ayunan fisis. Rangkaian ayunan fisis dalam percobaan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian percobaan ayunan fisis.

Percobaan ini menggunakan sebatang besi digunakan sebagai bandul yang digantung pada tali (benang jahit). Besi dipasang secara horizontal dan diikat dengan tali pada kedua ujungnya, dengan jarak antar tali (d) sebesar 0,3 meter. Batang besi yang digunakan merupakan batang besi homogen dengan pusat massa di tengah. Setelah pemasangan, besi tersebut disimpangkan dengan sudut sebesar 5° dari posisi keseimbangan, kemudian dilepaskan sehingga membentuk ayunan bolak-balik dengan waktu selama 15 detik. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan panjang tali dalam 6 variasi yang berbeda yaitu 0,2 m; 0,3 m; 0,4 m; 0,5 m; 0,6 m; dan 0,7 m. Untuk setiap variasi panjang tali, data diambil sebanyak 6 kali pengukuran. Setelah semua data terkumpul, data dianalisis untuk menghitung percepatan gravitasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan dimulai dengan menggantung batang homogen menggunakan benang jahit pada kedua sisinya, dengan jarak antara dua benang sebesar 0,3 meter. Kemudian, panjang benang diukur sesuai dengan panjang variasi yang telah ditentukan sebelumnya. Selanjutnya, batang homogen disimpangkan sebesar 5° dan dilepaskan seiring dengan penekanan tombol

start pada *stopwatch*. Data periode diambil untuk setiap variasi panjang benang yang dilakukan dalam enam kali pengulangan pengukuran. Setelah itu, data yang terkumpul dianalisis untuk menentukan nilai percepatan gravitasi yang hasilnya disajikan dalam Tabel 1.

Data dianalisis dengan menggunakan ralat grafik dengan nilai percepatan gravitasi rata-rata yang diperoleh sebesar $(9,77 \pm 0,085) m/s^2$. Perbedaan antara nilai percepatan gravitasi rata-rata yang diperoleh dari eksperimen dan nilai referensi universal dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, lokasi pengukuran memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil. Dalam kasus ini, percobaan dilakukan di Desa Sekaran, Kecamatan Gunungpati, Kota Semarang, Jawa Tengah, tepatnya pada lokasi dengan lintang selatan $-7,0441454^\circ$ dan bujur timur $110,3902337^\circ$ pada ketinggian 245,0 meter di atas permukaan laut. Lokasi ini dekat dengan ekuator, di mana efek rotasi bumi mengurangi percepatan gravitasi karena adanya gaya sentrifugal. Selain itu, ketinggian dari permukaan laut juga mempengaruhi hasil karena percepatan gravitasi berkurang seiring bertambahnya jarak dari pusat bumi.

Tabel 1. Hasil data pengamatan percobaan ayunan fisis

l (m)	T_1 (s)	T_2 (s)	T_3 (s)	T_4 (s)	T_5 (s)	T_6 (s)	\bar{T} (s)	T^2 (s)
0,200	0,3409	0,3409	0,3409	0,3488	0,3488	0,3469	0,3445	0,1187
0,300	0,6250	0,6250	0,6818	0,6250	0,6251	0,6250	0,6344	0,4025
0,400	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9375	0,9895	0,9792
0,500	1,3636	1,3636	1,3636	1,3636	1,3636	1,3636	1,3636	1,8595
Er-0,600	1,6666	1,6666	1,875	1,875	1,875	1,875	1,8055	3,2599
0,700	2,1428	2,1428	2,5000	2,1428	2,1428	2,5000	2,2618	5,1160

Kesalahan pengukuran juga dapat menjadi faktor yang menyebabkan perbedaan nilai. Kesalahan teknis seperti ketidaktepatan dalam pengukuran waktu periode ayunan. Penggunaan *stopwatch* manual, misalnya, bergantung pada respons manusia yang cenderung memiliki *delay* atau kesalahan dalam menghentikan dan memulai waktu, sehingga presisi pengukuran bisa terganggu. Ketidakstabilan tali juga dapat mempengaruhi hasil. Jika tali tidak dipasang dengan benar atau tidak seimbang, maka gerak ayunan bisa menjadi tidak sempurna, mengakibatkan variasi dalam periode ayunan yang tidak mencerminkan gerak harmonik sederhana. Pengaruh lingkungan seperti angin, getaran, atau bahkan fluktuasi suhu juga bisa menjadi penyebab perbedaan nilai. Angin yang berhembus dapat mengganggu gerakan ayunan, membuatnya bergerak ke arah yang tidak diinginkan dan memperpanjang atau memperpendek periode ayunan secara tidak konsisten. Getaran dari sekitar, seperti dari langkah kaki atau kendaraan yang lewat, juga dapat mempengaruhi gerakan ayunan.

Selain itu, alat ukur yang digunakan dalam eksperimen, yakni *stopwatch*, memiliki batasan presisi yang juga bisa menyebabkan sedikit perbedaan dalam hasil yang didapatkan. *Stopwatch* manual biasanya memiliki presisi hingga seperseratus detik, tetapi dalam praktiknya, kesalahan manusia dapat mengurangi tingkat akurasi ini. Bahkan perbedaan kecil dalam penekanan tombol dapat menyebabkan perbedaan dalam pengukuran waktu yang cukup signifikan ketika dihitung dalam konteks percepatan gravitasi. Selain itu, statif yang digunakan juga kurang stabil karena terdapat beberapa komponen statif yang patah, menyebabkan statif tidak dapat berdiri secara kokoh. Semua faktor ini, baik kesalahan teknis maupun pengaruh lingkungan, berkontribusi terhadap variabilitas hasil pengukuran dan menyebabkan perbedaan dengan nilai percepatan gravitasi universal.

Tabel 2. Nilai percepatan gravitasi bumi

	\underline{g}	Kesesatan Relatif (%)
Ayunan Fisis	9,77 m/s ²	0,97%
Referensi	9.80 m/s ²	

(McDouglas & McDouglas, 2012).

Meskipun ada perbedaan metode dalam menggunakan bandul sederhana atau batang fisis ini, prinsip dasar yang digunakan tetap sama yaitu hubungan antara periode ayunan dan panjang tali atau jarak gantung yang berbanding dengan akar dari percepatan gravitasi.

Pada prinsipnya, percepatan gravitasi (g) dapat dihitung dari periode ayunan (T) dan panjang tali (l) dengan persamaan

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (10)$$

Untuk batang homogen, prinsip ini berlaku dengan beberapa penyesuaian untuk memperhitungkan panjang efektif dan distribusi massa. Selama ayunan memenuhi syarat sebagai gerak harmonik sederhana dan dilakukan di tempat yang sama, percepatan gravitasi dapat dihitung dari pengukuran periode ayunan dan panjang tali atau jarak gantung yang digunakan dalam eksperimen tersebut.

KESIMPULAN

Percobaan untuk menentukan percepatan gravitasi dengan ayunan fisis menghasilkan nilai rata-rata sebesar $(9,77 \pm 0,085)$ m/s², sedikit berbeda dari nilai referensi 9,80 m/s². Perbedaan ini disebabkan oleh lokasi geografis eksperimen yang dekat ekuator dan berada pada ketinggian 245 meter, serta kesalahan teknis dalam pengukuran seperti ketidaktepatan waktu dengan *stopwatch* manual, ketidakstabilan tali, dan pengaruh lingkungan. Meskipun menggunakan metode yang berbeda, prinsip dasar yang menghubungkan periode ayunan dengan panjang tali tetap berlaku, menunjukkan bahwa percepatan gravitasi dapat dihitung dengan akurat selama variabel teknis dan lingkungan diperhitungkan dengan hati-hati. Dari hasil tersebut dapat diketahui desain percobaan ayunan fisis yang telah dibuat dapat menambah inovasi metode penentuan besar percepatan gravitasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Beatty, M. F., & Beatty, M. F. (2006). The Moment of Inertia Tensor. *Principles of Engineering Mechanics: Volume 2 Dynamics—The Analysis of Motion*, 355-404.
- Cross, R., & Nathan, A. M. (2009). Performance versus moment of inertia of sporting implements. *Sports Technology*, 2(1-2), 7-15.
- Halliday dan Resnick. (2011). *Principles of Physics. Ninth edition*. Fisika, Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Herkulanus, H., Azwar, A., & Nugroho, B. S. (2021). Pendulum Fisis dengan Massa Berubah. *PRISMA FISIKA*, 9(2), 190-195.
- Khanafiyah, S. (2009). Percobaan Osilasi Bandul Fisis Bentuk Sederhana Sebagai Tugas Proyek Penelitian Pada Materi Momen Inersia Di Sma. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 5(1).
- Kitchin, C. R. (2021). *Understanding Gravitational Waves*. Cham: Springer.
- MacDougal, D. W., & MacDougal, D. W. (2012). Galileo's great discovery: How things fall. *Newton's Gravity: An Introductory Guide to the Mechanics of the Universe*, 17-36.

- Sabri, K., Kurniati, N. A., Fadhilah, D. N., & Ardiansyah, M. D. (2024). Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Menggunakan Bandul Sederhana Di Daerah Kampus UPI. *Jurnal Pendidikan, Bahasa dan Budaya*, 3(1), 29-38.
- Schorah, D. J. (2015). *The effect of moment of inertia on the speed of swung implements*. Sheffield Hallam University (United Kingdom).
- Setyaningsih, W., Saputro, I. E., Palma, M., & Barroso, C. G. (2016). Pressurized liquid extraction of phenolic compounds from rice (*Oryza sativa*) grains. *Food Chemistry*, 192. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.102>
- Suciarahmat, A., & Pramudya, Y. (2015). Aplikasi Sensor Smartphone dalam Eksperimen Penentuan Percepatan Gravitasi (Halaman 10 sd 13). *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(55).
- Yuningsih, N., Sardjito, S., & Dewi, Y. C. (2020, April). Determination of earth's gravitational acceleration and moment of inertia of rigid body using physical pendulum experiments. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 830, No. 2, p. 022001). IOP Publishing.