

MENGUKUR GAYA GRAVITASI BUMI DENGAN MENGGUNAKAN METODE AYUNAN SEDERHANA DAN PIPA U

Masringgit Marwiyah Nst

Politeknik Adiguna Maritim Indonesia (POLTEK AMI) Medan

e-mail : masringgitmarwiyahnst@gmail.com

Diterima 18 Juli 2024

Dipublikasikan 15 Oktober 2024

<https://doi.org/10.33369/jkf.7.2.67-73>

ABSTRAK

Dalam kehidupan sehari-hari sering ditemukan yang dinamakan getaran. Jika ada gempa bumi di tempat kita berpijak mengalami getaran maka kita mengatakan bahwa bumi bergetar. Getaran seperti itu sebenarnya dihasilkan oleh benda yang mengalami gangguan sehingga ia bergerak bolak-balik di antara titik keseimbangannya. Apabila getaran tersebut menjalar ke benda-benda lainnya, maka terjadilah rambatan getaran yang disebut gelombang. Percobaan dengan alat praktikum ayunan sederhana dan pipa U ini bertujuan untuk menentukan besarnya gaya gravitasi bumi, menghitung tinggi ayunan (h), waktu ayunan (t) dan perioda ayunan (T). Praktikum dilakukan dengan mengamati perubahan nilai gaya gravitasi bumi dengan menambah tinggi ayunan dan air pada pipa U Prinsip kerja pada alat praktikum ini adalah dengan memutar tali yang di ikatkan pada pipa dengan memvariasikan panjang tali.

Kata kunci: Gaya Gravitasi, Ayunan Sederhana, Pipa U

ABSTRACT

In everyday life we often find things called vibrations. If there is an earthquake where we stand there is a vibration then we say that the earth is shaking. Such vibrations are actually produced by objects experiencing disturbances so that they move back and forth between their balance points. If these vibrations spread to other objects, a vibration propagation occurs which is called a wave. This experiment using a simple swing practical tool and a U pipe aims to determine the magnitude of the earth's gravitational force, calculate the swing height (h), swing time (t) and swing period (T). The practicum is carried out by observing changes in the value of the earth's gravitational force by increasing the height of the swing and the water in the U pipe. The working principle of this practicum tool is to rotate the rope tied to the pipe by varying the length of the rope.

Keywords: Gravity Force, Simple Swing, U Pipe

I. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mengalami kemajuan yang sangat pesat dan keadaan ini telah berdampak pada seluruh bidang kehidupan manusia, salah satunya adalah lembaga pendidikan. Di bidang ini, pengetahuan diperoleh tidak hanya secara teoritis tetapi juga melalui praktik (1). Teori ilmiah memiliki penerapan langsung dalam praktik (2). Namun yang menjadi kendala yang ada saat uji coba adalah peralatan yang digunakan untuk mengukur variabel mungkin masih manual (3). Oleh karena itu keakuratan yang dicapai dalam pengukuran ini sangat rendah karena kesalahan seperti kesalahan pembacaan alat ukur, kesalahan estimasi sering terjadi (4).

Suatu Instrumen dapat secara otomatis dan akurat menentukan nilai atau ukuran suatu besaran atau variabel Peralatan tersebut dapat berupa alat yang sederhana dan relatif sederhana, misalnya alat ukur sederhana. Namun, seiring kemajuan teknologi, permintaan akan peralatan yang lebih andal dan akurat semakin meningkat (5). Peralatan elektronika dapat digunakan sebagai alat pengajaran praktik fisika dasar, seperti ayunan matematika yang bertujuan untuk menentukan

variabel percepatan gravitasi bumi (6). Materi ini memerlukan timer atau counter. Timer menampilkan durasi osilasi bandul, dan penghitung menampilkan jumlah osilasi (osilasi) bandul, sehingga ditentukan periode (7).

Pada kenyataannya, getaran dibagi dua, yaitu getaran sederhana, seperti ayunan bandul jam, gerak osilasi air raksa/gerak air pada pipa U, getaran pada garpu tala, dan getaran kompleks seperti getaran pada speaker. Akan tetapi, berdasarkan analisis matematika, dapat ditunjukkan bahwa getaran kompleks tersebut ternyata merupakan gabungan dari getaran-getaran sederhana(8). Apabila suatu benda bergerak maju mundur menuju suatu titik tertentu, maka benda tersebut dikatakan bergetar atau benda tersebut bergetar. Dalam fisika dasar, terdapat beberapa kasus getaran, termasuk gerak harmonik sederhana (9). Gerak harmonik sederhana (GHS) merupakan gerak maju mundur suatu benda melalui suatu titik kesetimbangan tertentu, dimana frekuensi getaran benda setiap detiknya selalu konstan. Gaya pemulih menyebabkan gerak harmonik sederhana. Hal inilah yang menciptakan gerakan harmonis. Sederhananya, asumsi ini mengasumsikan bahwa tidak ada gaya disipatif seperti gesekan dengan udara, antara komponen sistem pegas dan beban, atau antara pegas (5). Karena itulah terjadi gerak harmonik. Pengertian sederhana adalah bahwa kita menganggap tidak ada gaya disipatif, misalnya gaya gesek dengan udara, atau gaya gesek antara komponen sistem pegas dengan beban, atau pegas dengan setatipnya (10).

Tabung U adalah salah satu bejana sambungan paling sederhana dengan bentuk U. Jika tabung U diisi dengan zat cair jenis tertentu, tinggi zat cair pada kedua tabung akan sama. Artinya: Hukum kontainer yang terhubung mengikuti. Peralatan yang digunakan oleh pembangun untuk mempertahankan lokasi yang rata juga memanfaatkan hukum kapal terkait (11).

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian kualitatif, yaitu penelitian yang bertujuan untuk mempelajari keadaan benda-benda alam, dimana peneliti sebagai instrumen utamanya. Tujuan penelitian kualitatif adalah untuk menjelaskan suatu fenomena dengan mengumpulkan data sedalam-dalamnya, yang menunjukkan pentingnya kedalaman dan kedalaman data yang diselidiki (12). Penelitian ini mengamati percobaan ayunan sederhana dan kolom air menggunakan pipa U. Alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan ayunan sederhana adalah: 1) set rangkaian alat ayunan sederhana, 2) stopwatch, dan 3) Pembeda. Langkah-langkah percobaan ayunan sederhana terdiri dari 1) panjang tali tertentu diambil, 2) waktu ayunan diukur dengan cara mengukur waktu yang diperlukan untuk 50 kali ayunan, 3) Ulangi percobaan ini sebanyak 5 kali dengan mengambil panjang tali yang berlainan.

Adapun alat dan bahan praktikum Pipa U adalah 1) Pipa U, 2) Kabel / tali untuk mengukur tinggi permukaan zat cair, 3) Air, 4) Stopwatch, dan 5) Penggaris. Langkah-langkah percobaan Pipa U adalah sebagai berikut: 1) siapkan alat-alat yang diperlukan, 2) ukur panjang kolom zat cair, 3) Gunakan tabung-U untuk memastikan ketinggian cairan tidak sama - miringkan pipa kira-kira 45° dan lepaskan. 4) Ukur T sebanyak 5 kali, (setiap t terdiri dari 5 ayunan) $T = t/5$, 5) catat nilai T yang dihitung, 6) hitung percepatan gravitasi dari percobaan ini. 7) bandingkan dengan literatur ($g = 9,78 \text{ m/s}^2$).

Rincian rumus yang digunakan dalam percobaan diberikan dalam persamaan berikut:

Perhitungan $\langle t \rangle$

$$\langle t \rangle = \frac{t_1+t_2+t_3+t_4+t_5}{5} \tag{1}$$

Perhitungan nilai ketidakpastian

$$\Delta T = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \sum t^2 - (\sum t)^2}{n-1}} \tag{1}$$

Perhitungan T

$$T = \frac{t}{n} \tag{2}$$

Perhitungan g

Perhitungan g diperoleh dari rumus periode pada ayunan sederhana.

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

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

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (5)$$

dengan T adalah periode, L adalah panjang kolom zat cair (m), dan g adalah percepatan gravitasi (m/s^2).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Ayunan Sederhana

Hasil percobaan ayunan sederhana dengan $\Theta = 10^0$ dan panjang tali $L = 30$ cm dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengukuran t untuk $L=0,30$ m

Pengukuran	Panjang tali (cm)	t (sekon)
I	0,30	66,5
II		63,2
III		67,78
IV		62,43
V		63,27

Dengan cara yang sama diperoleh data hasil perhitungan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan T dan g dengan Panjang Tali 0,3 m

L (m)	T dalam 50 kali getaran	T (s)	T ² (s)	g (m/s^2)
0,3	66,5	1,33	1,7689	6,69
	63,2	1,26	1,5976	7,4
	67,78	1,35	1,8376	6,43
	62,43	1,25	1,559	7,58
	63,27	1,27	1,6012	7,38
			$\bar{T}^2 = 1,6729$	

Tabel 3. Hasil Perhitungan g dengan Panjang Tali 0,3 m

No	g (m/s^2)	\bar{g} (m/s^2)	$(g - \bar{g})$ (m/s^2)	$(g - \bar{g})^2$ (m/s^2)
1	6,68	7,10	0,41	0,17
2	7,4		-0,30	0,091
3	6,4		0,66	0,44
4	7,5		-0,48	0,237
5	7,3		-0,28	0,082
$\sum g = 44,33$			$\sum (g - \bar{g})^2 = 1,02$	

Pipa U

Hasil percobaan menggunakan Pipa U, dapat dilihat pada tabel 4. Panjang kolom zat cair adalah $15 \pm 0,05 \times 10^{-2}$ m dengan $l = \frac{\text{Panjang kolom zat cair}}{2} = \frac{15}{2} = 7,5 \pm 0,05 \times 10^{-2}$ m.

Tabel 4. Perhitungan t dengan Δt

No	$t \pm \dots$ (s)	$\langle t \rangle \pm \Delta t$	$T = \langle t \rangle / 5$
1	2,7	$2,93 \pm 0,134$	0,6212
2	2,26		
3	3,1		
4	2,97		

No	$t \pm \dots (s)$	$\langle t \rangle \pm \Delta t$	$T = \langle t \rangle / 5$
5	2,9		

Tabel 5. Nilai g pada setiap variasi tinggi kolom air

No	L(m)	$g (m/s^2)$	$\bar{g} (m/s^2)$
1	0,075	8,6	
2	0,125	8,8	11,28
3	0,175	11,45	
4	0,225	11,18	
5	0,275	13,49	

$$\% \text{kesalahan} = \left| \frac{\text{Nilai teori} - \text{Nilai praktek}}{\text{Nilai teori}} \times 100\% \right| = \frac{9,8 \text{ m/s}^2 - 11,19 \text{ m/s}^2}{9,8} \times 100\% = 15,1 \%$$

3.2 Pembahasan

Ayunan Sederhana

Ayunan sederhana adalah pendulum ideal yang terdiri dari sebuah titik massa yang digantungkan pada tali yang ringan dan tidak dapat diregangkan. Ketika bandul ditarik kesamping dari posisi setimbangnya dan dilepaskan, pengaruh gravitasi menyebabkan bandul berayun pada bidang vertikal. Gerakannya beresilasi dan periodik. Jika sudutnya kecil (deviasi kecil), keadaannya mendekati gerak linier (3). Periode bandul sederhana adalah $T = 2\pi$. Periode ini tidak bergantung pada massa partikel tersuspensi. Pendulum matematika telah lama digunakan untuk mengukur nilai absolut gravitasi pada suatu titik di permukaan bumi. Pengukuran ini didasarkan pada variasi periode osilasi bandul matematika pada panjang yang berbeda. Pengukuran gravitasi absolut menggunakan pendulum matematika dapat dilakukan secara akurat, namun pengukuran waktu juga sangat akurat. (5).

Pada percobaan penentuan percepatan gravitasi dengan metode ayunan bandul, percobaan yang sama dilakukan sebanyak tiga kali. Panjang tali (ℓ) adalah 0,3 m, 0,4 m, 0,50 m, 0,60 m, 0,70 m. Pada percobaan ini jumlah getaran pada setiap percobaan adalah 50.

Dari hasil percobaan tersebut, dalam menentukan periode dapat dikatakan bahwa jika panjang tali yang digunakan sama, maka semakin besar simpangan yang diberikan maka waktu yang dibutuhkan untuk mengayun sebanyak 50 kali akan semakin lama. Hal ini dikarenakan jenis beban yang digunakan dan panjang talinya sama. Hal ini berbanding terbalik dengan teori yang ada: semakin pendek panjang tali maka ayunannya akan semakin cepat dan pendek. Hal sebaliknya juga benar. Semakin panjang talinya, semakin lambat ayunan pendulumnya dan semakin lama pula daya tahannya. Hal ini sesuai dengan persamaan bandul $T = 2\pi\sqrt{\ell/g}$, dimana periode osilasi berbanding terbalik dengan panjang tali. Hal ini merupakan keputusan teoretis pada zaman itu yang tidak sejalan dengan teori yang ada. Hal ini juga disebabkan karena jenis beban yang digunakan dan panjang talinya sama. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (13) hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin tinggi tempat dalam ukuran MDPL maka semakin kecil pengaruh percepatan gravitasi pada suatu benda. Data pengaruh ketinggian MDPL terhadap nilai percepatan gravitasi bumi.

Selanjutnya jika kita mencari percepatan gravitasi, kita dapat mengatakan bahwa percepatan gravitasi adalah $9,8 \text{ m/s}^2$, seperti yang telah kita ketahui. Hasil percobaan yang diperoleh menunjukkan perbedaan yang sangat besar yaitu $8,85 \text{ m/s}^2$. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti adanya gesekan antara tali dengan udara (angin) yang menyebabkan benda bergerak maju mundur atau berayun berbeda, dan kurangnya ketelitian dalam pekerjaan nyata, seperti . Kurangnya kehati-hatian dalam mengukur dan menghitung waktu osilasi serta adanya gaya tambahan pada saat bandul berayun atau beresilasi.

Pipa U

Dalam magang ini, gerakan osilasi dilakukan pada tabung-U. Cara pengukuran diproses tergantung pada data yang diperoleh dalam percobaan ini. Selain itu, waktu yang diperlukan fluida yang terdapat dalam tabung-U untuk berosilasi dipengaruhi oleh ketinggian fluida ketika tabung-U dimiringkan dan tekanan diberikan pada salah satu ujung tabung yang terbuka. Hal ini dikarenakan tinggi tabung U berbanding lurus dengan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan getaran. Semakin tinggi ketinggiannya, semakin lama waktu yang dibutuhkan. Durasi mempengaruhi nilai periode (T). Hal ini disebabkan semakin lama waktu terjadinya osilasi tertentu, maka periode (T) menjadi semakin besar. Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan osilasi berbanding lurus dengan periode (14). Nilai percepatan gravitasi (g) pada percobaan ini dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut: $g = \frac{4l\pi^2}{T^2}$ Hal ini dijelaskan pada bagian perhitungan. Data yang diperoleh adalah $11,28 \text{ m/s}^2$, melebihi percepatan gravitasi sebesar $9,78 \text{ m/s}^2$ yang disebutkan dalam literatur. Dari data tersebut terlihat bahwa selisih nilai percepatan gravitasi berdasarkan hasil sebenarnya dengan nilai percepatan gravitasi berdasarkan literatur adalah sebesar $1,48 \text{ m/s}^2$.

Melihat persamaan di atas, kita dapat melihat bahwa akselerasi bumi dipengaruhi oleh panjang kolom fluida dan periodenya. Semakin lama kolom cairan, semakin besar percepatan bumi, dan semakin besar periode, semakin kecil percepatan bumi. Ini karena akselerasi bumi berbanding lurus dengan panjang kolom fluida, dan berbanding terbalik dengan periode (t).

Perbedaan di luar literatur yang ada ini mungkin disebabkan oleh kesalahan pada peralatan sebenarnya yang digunakan, khususnya U-tube. Karena peralatan laboratorium sering digunakan, keakuratan dan ketinggian cairan pada waktu tertentu menjadi berkurang. Pipa tidak konstan. Mungkin juga terdapat kesalahan dalam menampilkan skala yang dihasilkan selama proses observasi, atau lingkungan eksperimen mungkin tidak didukung. Ketidakakuratan pengamatan ini mungkin disebabkan karena kemiringan tabung-U tidak sama pada semua kemiringannya. Jika sudut kemiringannya sangat besar maka dapat diperoleh nilai T yang sangat kecil sehingga dapat berpengaruh besar terhadap nilai g yang dihasilkan. Nilai $\pm\Delta t$ yang diperoleh hanya menunjukkan nilai satuan minimum. Menunjukkan satuan nilai terkecil. h. Nilai presisi akan ditampilkan. Nilai ini tidak mempengaruhi nilai t. Oleh karena itu, $\pm\Delta t$ tidak dimasukkan dalam perhitungan. Ketidakpastian pengukuran menyebabkan kesalahan dalam pembacaan skala setiap kali Anda mengukur suatu objek, yang dapat sedikit mengganggu data yang dihasilkan. Kesalahan dalam penghitungan data juga mungkin menjadi penyebabnya.

Perbandingan nilai percepatan gravitasi dengan metode ayunan sederhana dan pipa U

Ketika kita melepaskan bola atau benda mengelilingi bumi, maka benda tersebut tertarik ke bumi dan daerahnya dikatakan berada dalam medan gravitasi bumi. Cara mencari percepatan gravitasi dengan metode ayunan sederhana menggunakan rumus $g = \frac{4l\pi^2}{T^2}$ di dapat hasil perhitungan gravitasi sebesar $8,85 \text{ m/s}^2$, Seperti yang telah anda ketahui, percepatan gravitasi adalah $9,8 \text{ m/s}^2$.

Dari hasil percobaan yang diperoleh, nilai gravitasi mempunyai selisih nilai persentase kesalahan sebesar 9,6%. Hal ini dikarenakan penentuan percepatan gravitasi suatu lokasi dengan menggunakan model jatuh bebas dilakukan dengan membandingkan kuadrat waktu dan ketinggian, dan lain-lain berdasarkan pengamatan di atas bahwa semakin tinggi suatu benda maka waktu yang dibutuhkan semakin lama. Nilai rata-rata percepatan gravitasi di Laboratorium Fisika UIN Ar-Raniry adalah $9,2 \text{ m/s}^2$. (15).

Peristiwa ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain: Gesekan antara tali dengan udara (angin) menyebabkan benda bergerak maju mundur, menimbulkan getaran yang berbeda beda, dan kurang ketelitian dalam kerja praktek. Akibat kecerobohan dalam mengukur dan menghitung waktu osilasi serta adanya gaya tambahan pada saat bandul berayun atau berosilasi. terkait selanjutnya juga memperoleh hasil berdasarkan perhitungan teoritis nilai gravitasi bumi menggunakan hukum gravitasi Newton ($g = 9,806 \text{ m/s}^2$).

Nilainya ditentukan berdasarkan perhitungan manual yang $g_1 = 9,796 \text{ m/s}^2$ Sehingga jika dirata-ratakan didapat $g_{\text{lokal}} = (9,799 \pm 0,001) \text{ m/s}^2$ (16).

Pada percobaan tabung berbentuk U nilai percepatan gravitasi (g) juga ditentukan dengan perhitungan menggunakan rumus $g = \frac{4\pi^2}{T^2}$ yang dijelaskan pada bagian perhitungan. Data yang diperoleh adalah $11,28 \text{ m/s}^2$ melebihi $9,78 \text{ m/s}^2$ yang dilaporkan dalam literatur. Data menunjukkan selisih antara nilai percepatan gravitasi berdasarkan hasil uji coba dan berdasarkan literatur adalah sebesar $1,48 \text{ m/s}^2$ dengan nilai %kesalahan adalah sebesar 15,1%.

Dua percobaan menunjukkan bahwa perhitungan nilai percepatan gravitasi pada percobaan ayunan sederhana lebih akurat dibandingkan menggunakan percobaan pipa U. Nilai %kesalahan pada percobaan ayunan sederhana sebesar 9,6% dan pada pipa U sebesar 15,1%.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diperoleh hasil analisa data dan maka dapat disimpulkan bahwa 1) Nilai percepatan gravitasi bumi dengan metode ayunan sederhana di peroleh rata-rata nilai perhitungan gravitasi sebesar $8,85 \text{ m/s}^2$ dan nilai %kesalahan dengan percobaan ayunan sederhana sebesar 9,6%. 2) Nilai percepatan gravitasi bumi dengan metode pipa U di peroleh rata-rata nilai perhitungan gravitasi sebesar $11,28 \text{ m/s}^2$ dan nilai %kesalahan dengan percobaan pipa U sebesar 15,1%. 3) Hasil analisa data menunjukkan bahwa metode penentuan Nilai percepatan gravitasi bumi dengan metode ayunan sederhana lebih akurat daripada menggunakan metode pipa U dengan nilai %kesalahan pada ayunan sederhana yang lebih kecil.

4.2 Saran

Untuk menentukan nilai percepatan gravitasi secara akurat, sebaiknya para ahli melakukan pekerjaan eksperimental ini dengan hati-hati dan menyeluruh. Hal yang sama berlaku untuk perhitungan menggunakan rumus.

DAFTAR PUSTAKA

1. Pane A, Dasopang MD. Belajar dan pembelajaran. Fitrah: Jurnal Kajian Ilmu-Ilmu Keislaman. 2017;3(2):333–52.
2. Komara E. Penguatan Pendidikan Karakter dan Pembelajaran Abad 21. Sipatahoenan. 2018;4(1).
3. Pangesti W, Tiyas K, Anisa Z, Novianto H. Utilization of Clackers to Determine the Amount of Local Gravitational Acceleration Using Harmonic Vibration Theory. CHEMVIRO: Jurnal Kimia dan Ilmu Lingkungan. 2023;1(1):17–23.
4. Pratiwi TD. Analisis Perbandingan Nilai Percepatan Gravitasi Bumi Menggunakan Metode Ayunan Matematis dan Pegas. 2024;3(1):1–5.
5. Toda S, Mala Tati MY, Bhoga YC, Astro RB. Penentuan Percepatan Gravitasi Menggunakan Konsep Gerak Jatuh Bebas. OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika. 2020;4(1):30–7.
6. Rosdianto H. Penentuan Percepatan Gravitasi Pada Percobaan Gerak Jatuh Bebas Dengan Memanfaatkan Rangkaian Relai. SPEKTRA: Jurnal Fisika dan Aplikasinya. 2017;2(2):107.
7. Chusni MM. Penentuan Besar Percepatan Gravitasi Bumi Menggunakan Ayunan Matematis Dengan Berbagai Metode Pengukuran. Scientiae Educatia. 2017;6(1):47.
8. Mosey HIR, Lumi BM. Determining Sam Ratulangi University ' S Local Gravity Acceleration Based on Harmonic Oscillation Theory. Jurnal Ilmiah Sains. 2016;16(2):104–7.
9. Setyadin AH, Ferahenki AR, Ramayanti S, Sholihat FN, Nugraha MG, Saepuzaman D, et al. Optimalisasi Bandul Matematis Menggunakan Tracker dalam Penentuan Perubahan Percepatan Gravitasi Permukaan Bumi (g) Akibat Gerhana Matahari Sebagian (GMS) 9 Maret 2016. 2016;(October):SNF2016-CIP-167-SNF2016-CIP-170.
10. Sinta M, Sakdiah H, Novita N, Ginting FW, Syafrizal S. Penerapan Model Pembelajaran Project Based Learning (PjBL) untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kreatif Siswa pada Materi Hukum

- Gravitasi Newton di MAS Jabal Nur. *Jurnal Phi Jurnal Pendidikan Fisika dan Fisika Terapan*. 2022;3(3):24.
11. River US. *Answers : Physics for Scientists & Engineering with Modern Physics*. 2008;1–14.
 12. prof. dr. sugiyono. prof. dr. sugiyono, metode penelitian kuantitatif kualitatif dan r&d. intro (PDFDrive).pdf. Bandung Alf. 2011. p. 143.
 13. Muhammad Subhan, Eka Rahmawati, Lis Suswati, Yus'iran Y, Fatimah F. Variasi Ketinggian MDPL terhadap Nilai Percepatan Gravitasi Bumi pada Konsep Gerak Jatuh Bebas (GJB) untuk Pendekatan Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Mipa*. 2022;12(3):831–7.
 14. Fisika PL, Sani RA. Unimed Press ISBN : 978-602-8848-96-1. 2012;
 15. Nurhayati, Ayu Dewi R, Aslamiyah S. Penentuan Nilai Percepatan Gravitasi Bumi dengan Model Gerak Jatuh Bebas di. *Jurnal Phi: Jurnal Pendidikan Fisika dan Fisika Terapan*. 2021;2(1):15–8.
 16. Fayanto S, Yanti, Pati S, Dkk. Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi dengan Metode Bandul Sederhana. *Jurnal Praktikum Mekanika Analitik*. 2016;3.