

Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Menggunakan Bandul Sederhana Di Daerah Kampus UPI

Khairul Sabri ¹, Nanda Aisyah Kurniati ², Dzulfikar Nasriyan Fadhilah ³,
M Dearil Ardiansyah ⁴

¹⁻⁴ Universitas Pendidikan Indonesia

Korespondensi penulis: irulsabri2411@upi.edu

Abstract. Many people assume that the value of gravitational acceleration always has a fixed value. However, if we look closely, the value of gravitational acceleration always changes in each place. This research aims to compare differences in Earth's gravitational acceleration in various locations. Through this research, researchers can identify the causes of differences in gravity, one of which is differences in height. The method used in this research is a simple pendulum experimental method, with a quantitative approach to collecting data from various places. The results obtained for g in the JICA building on the 5th floor were $9,47 \text{ m/s}^2$, g in the FIP building on the 10th floor was $9,72 \text{ m/s}^2$, g in the FPTK $9,59 \text{ m/s}^2$, and g at the National Museum of Education is $9,72 \text{ m/s}^2$. Apart from that, it can be found the average magnitude of the gravitational acceleration from these four places is $9,62 \text{ m/s}^2$. From these results it can be concluded that the magnitude of the Earth's gravitational acceleration is different in each place. Apart from height, this difference can also occur due to uncertainty in measuring gravity.

Keywords: Gravitational Acceleration, Simple Pendulum, Uncertainty.

Abstrak. Banyak orang-orang beranggapan bahwa nilai percepatan gravitasi selalu memiliki nilai yang tetap. Namun, jika ditinjau lebih mendalam nilai percepatan gravitasi selalu berubah-ubah di setiap tempat. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perbedaan percepatan gravitasi bumi di berbagai lokasi. Melalui penelitian ini, peneliti dapat mengidentifikasi penyebab perbedaan gravitasi, salah satunya perbedaan ketinggian. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode eksperimen bandul sederhana, dengan pendekatan kuantitatif untuk mengumpulkan data dari berbagai tempat. Hasil yang diperoleh untuk g di gedung JICA lantai 5 sebesar $9,47 \text{ m/s}^2$, g di gedung FIP lantai 10 sebesar $9,72 \text{ m/s}^2$, g di parkir FPTK sebesar $9,59 \text{ m/s}^2$, dan g di Museum Nasional Pendidikan sebesar $9,72 \text{ m/s}^2$. Selain itu, dapat ditemuka rata-rata besarnya percepatan gravitasi dari keempat tempat tersebut yaitu sebesar $9,62 \text{ m/s}^2$. Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa nilai percepatan gravitasi bumi di berbagai tempat itu berbeda. Selain karena ketinggian, perbedaan ini pula dapat terjadi karena adanya ketidakpastian dalam mengukur gravitasi.

Kata kunci: Percepatan gravitasi, bandul sederhana, ketidakpastian.

LATAR BELAKANG

Suatu benda yang memiliki massa jika didekatkan dengan benda bermassa lainnya akan cenderung saling tarik-menarik, jika semakin besar massa suatu benda maka akan semakin besar juga kecenderungan benda tersebut untuk saling tarik-menarik (Nugroho H. S., dkk., 2018). Kecenderungan kedua benda saling tarik-menarik inilah yang disebut gaya gravitasi. Sama halnya dengan bumi yang memiliki massa sehingga cenderung akan menarik benda yang berada diatas permukaannya dan fenomena ini disebut dengan gaya gravitasi bumi. Perubahan kecepatan terhadap waktu gravitasi bumi disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya yaitu jarak suatu benda dengan pusat bumi itu sendiri (Subhan, Rahmawati, Suswanti, Yus'iran, & Fatimah, 2022).

Nilai percepatan gaya gravitasi yang tercantum didalam buku-buku pembelajaran biasanya sudah dalam besaran yang sama yaitu 9.8 meter per waktu kuadrat. Sehingga banyak orang-orang termasuk para siswa beranggapan bahwa nilai percepatan gravitasi selalu memiliki nilai yang tetap (Rosita I., dkk., 2020). Namun, jika ditinjau lebih mendalam nilai percepatan gravitasi selalu berubah-ubah di setiap tempat. Seperti nilai percepatan gravitasi akan berubah jika terjadi gerhana matahari di suatu tempat, karena saat itu terjadi dua gaya sekaligus yang dialami oleh bumi yaitu gaya tarik bulan dan gaya tarik matahari (Nugroha H., S., dkk., 2018). Jari-jari bumi yang tidak sepenuhnya sama sehingga terjadi perbedaan percepatan gravitasi (Firdaus T., dkk., 2019). Kondisi suatu tempat atau wilayah di bagian bumi pula dapat mempengaruhi percepatan gravitasi karena berbagai faktor diantaranya garis lintang, rotasi bumi, dan kondisi geologi bumi seperti kepadatan batuan dan kerapatan lateral (Priyambodo, 2022).

Penentuan nilai gravitasi bumi dapat dilakukan dengan beberapa metode, seperti metode pegas yang digabungkan dengan sensor ultrasonik dan dinilai cukup efektif dalam menentukan percepatan gravitasi karena memiliki tingkat validasi di atas nilai 85% (Muspa R., & Suwondo N., 2020). Metode lainnya yaitu metode dengan menggunakan mesin Atwood yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, dengan menggabungkan mesin Atwood dan mikrometer STM32, metode ini dinilai efektif karena dapat menampilkan data berupa waktu yang akurat serta memiliki tingkat ketepatan mencapai 95% (Widyaseno H., D., & Susilo., 2022). Pada penelitian ini, metode yang kami gunakan yaitu metode pendulum, atau lebih dikenal dengan istilah bandul sederhana. Selain karena mudah untuk mendapatkan data, alat untuk melakukan percobaan mudah untuk didapatkan dan digunakan. Bandul sederhana yaitu sebuah alat praktikum yang terdiri dari: (1) Benda yang digantung, dimana benda tersebut merupakan sebuah beban. (2) Tali untuk menggantung beban tersebut. Beban yang digantung pada tali tersebut dapat berayun secara bebas sehingga bisa menghasilkan sebuah periode.

Berdasarkan hal tersebut, maka akan dilakukan penelitian mengenai pengukuran percepatan gravitasi dari berbagai tempat di kampus UPI ditinjau dari ketinggian terhadap permukaan laut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen bandul sederhana untuk memperoleh besar percepatan gravitasi. Selain itu, penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menghasilkan berbagai percepatan gravitasi di wilayah Universitas Pendidikan Indonesia dengan variasi ketinggian terhadap permukaan air laut yang berbeda. Penelitian ini dilakukan

di berbagai tempat, di antaranya : 1) Gedung JICA lantai 5, 2) Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan (FIP) lantai 10, 3) Tempat parkir gedung Fakultas Pendidikan Teknik dan Kejuruan (FPTK), 4) Museum Pendidikan Nasional Universitas Pendidikan Indonesia.

Data pada penelitian ini diambil dengan mengukur perioda osilasi. Bandul yang sudah diikat dengan tali akan diayunkan dengan besar sudut 10° . Saat mengukur perioda osilasi berat bandul maupun tali dapat diabaikan karena berat kedua benda tersebut tidak mempengaruhi saat mengukur perioda osilasi, karena hal-hal yang menyebabkan bandul dapat beregerak hanya perioda (T), waktu ayunan bandul (t), gravitasi bumi (g), dan panjang tali yang mengikat bandul (l) (Aisiyah, Annas, Ningrum, Widodo, & Cahyani, 2022).

Adapun tahapan pengambilan data untuk memperoleh besar percepatan gravitasi yaitu sebagai berikut : 1) Menyiapkan alat dan bahan, yaitu bandul, statif, klem universal, tali, penggaris, busur dan juga stopwatch. 2) Mengukur tali dengan panjang yang telah ditentukan, yaitu 54 cm. 3) Mengikat bandul dengan tali, lalu gantungkan pada statif. 4) Posisikan bandul dalam keadaan setimpang. 5) Ayunkan bandul dan catat waktu yang diperlukan untuk 10 kali getaran. 6) Lakukan percobaan yang sama sebanyak 3 kali.

Data tersebut diperlukan untuk mendapatkan:

1. Gravitasi (g)

Persamaan umum yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai percepatan gravitasi yaitu persamaan perioda osilasi pada bandul yang berkaitan dengan panjang tali (l) dan waktu yang dibutuhkan bandul untuk satu kali getaran/melakukan ayunan dari titik awal hingga kembali ke titik semula (T)

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

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

$$g = \frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2}$$

2. Ketidakpastian Gravitasi (Δg)

Persamaan umum untuk mendapatkan nilai ketidakpastian gravitasi berkaitan dengan ketidakpastian perioda (ΔT) dan ketidakpastian panjang tali (Δl). Ini adalah prinsip dasar kalkulus yang memisahkan perubahan total dalam perubahan yang disebabkan oleh setiap variabel independen. Kemudian turunan parsial pertama terhadap

periode dan panjang tali untuk mendapatkan tingkat perubahan g terhadap masing-masing variabel tersebut. Turunan parsial terhadap T menghasilkan $\frac{dg}{dT}$, sedangkan turunan parsial terhadap l menghasilkan $\frac{dg}{dl}$.

$$\Delta g = \frac{dg}{dT} \cdot \Delta T + \frac{dg}{dl} \cdot \Delta l$$

Menggantikan g dengan fungsinya yang sesuai, yaitu $g = \frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2}$. Ini adalah persamaan yang menghubungkan gravitasi, panjang, dan periode dalam gerakan osilasi sederhana.

$$\Delta g = \frac{d}{dT} \left(\frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2} \right) \Delta T + \frac{d}{dl} \left(\frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2} \right) \Delta l$$

Menggantikan turunan parsial dengan nilai-nilai yang sesuai. $\frac{dg}{dT}$ ditempatkan sebagai faktor dari ΔT , sedangkan $\frac{dg}{dl}$ ditempatkan sebagai faktor Δl .

$$\Delta g = -\frac{8\pi^2 \cdot l}{T^2} \Delta T + \frac{4\pi^2}{T^2} \Delta l$$

Dengan menggunakan persamaan ini, dapat dihitung perubahan g sebagai hasil dari ketidakpastian periode dan ketidakpastian panjang tali, dengan menggunakan nilai-nilai yang sesuai untuk $\frac{dg}{dT}$, $\frac{dg}{dl}$, ΔT , dan Δl .

Keterangan :

- Panjang tali (l) = 54 cm = 0,54 m
- Jumlah getaran (n) = 10 getaran
- Periode (T) = $\frac{n}{t}$
- Kesalahan Pengukuran Periode (ΔT) = $\frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \cdot \Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}{n-1}}$
- Skala terkecil penggaris = 0,1 cm = 0,001 m
- Kesalahan pengukuran penggaris (Δl) = $\frac{\text{skala terkecil}}{2} = 5 \times 10^{-4}$

Sedangkan untuk memperoleh data ketinggian tempat terhadap permukaan air laut pada penelitian ini dapat menggunakan bantuan aplikasi Google Earth dan situs Map Coordinates yang dapat diakses dan tersedia di perangkat android. Data tersebut akan diperoleh di setiap tempat yang telah ditentukan, kemudian hasilnya akan dibandingkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut disajikan data yang kami peroleh :

1. Data hasil pengukuran percepatan gravitasi di Gedung JICA lantai 5

Ketinggian tempat (h) = 912,24 mdpl

Tabel 1. Data Pengukuran Gedung JICA Lantai 5

T	T	T ²	
14,99	1,499	2,247	T _{rata-rata} = 1,5
15,04	1,504	2,262	ΣT = 4,494
14,91	1,491	2,223	ΣT ² = 6,732

$$\bullet \Delta T = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3.6732 - (4,494)^2}{2}}$$

$$= 0$$

$$\bullet g = \frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2}$$

$$g = \frac{(4(3,14)^2 \cdot 0,54)}{(1,5)^2} = 9,47 \text{ m/s}^2$$

$$\bullet \Delta g = -\frac{8\pi^2 \cdot l}{T^2} \Delta T + \frac{4\pi^2}{T^2} \Delta l$$

$$\Delta g = -\frac{(8(3,14)^2 \cdot 0,54)}{T^2} (0) + \frac{(4(3,14)^2)}{(1,5)^2} (5 \times 10^{-4}) = 0,009 \text{ m/s}^2$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai percepatan gravitasi di sekitar wilayah Gedung JICA lantai 5, yaitu $9,47 \frac{m}{s^2} \pm 0,009 \frac{m}{s^2}$

2. Data hasil pengukuran percepatan gravitasi di Gedung FIP lantai 10

Ketinggian tempat (h) = 1018 mdpl

Tabel 2. Data Pengukuran Gedung FIP Lantai 10

T	T	T ²	
14,72	1,472	2,167	T _{rata-rata} = 1,48
14,69	1,469	2,158	ΣT = 4,437
14,96	1,496	2,238	ΣT ² = 6,563

- $$\Delta T = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3.6563 - (4,437)^2}{2}}$$

$$= 0,001$$
- $$g = \frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2}$$

$$g = \frac{(4(3,14)^2 \cdot 0,54)}{(1,48)^2} = \frac{9,72m}{s^2}$$
- $$\Delta g = -\frac{8\pi^2 \cdot l}{T^2} \Delta T + \frac{4\pi^2}{T^2} \Delta l$$

$$\Delta g = -\frac{(8(3,14)^2 \cdot 0,54)}{(1,48)^3} \cdot (0,01) + \frac{(4(3,14)^2)}{(1,48)^2} (5 \times 10^{-4})$$

$$\Delta g = -0,12m/s^2$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai percepatan gravitasi di sekitar wilayah Gedung FIP lantai 10, yaitu $9,72 m/s^2 \pm 0,12m/s^2$

3. Data hasil pengukuran percepatan gravitasi di Tempat Parkir FPTK

Ketinggian tempat (h) = 884,42 mdpl

Tabel 3. Data Pengukuran Tempat Parkir FPTK

T	T	T ²	
14,91	1,491	2,223	T _{rata-rata} = 1,49
14,88	1,488	2,114	ΣT = 4,468
14,89	1,489	2,117	ΣT ² = 6,654

- $$\Delta T = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3.6654 - (4,468)^2}{2}}$$

$$= 0,01$$
- $$g = \frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2}$$

$$g = \frac{4(3,14)^2 \cdot 0,54}{(1,49)^2} = 9,59 m/s^2$$
- $$\Delta g = -\frac{8\pi^2 \cdot l}{T^2} \Delta T + \frac{4\pi^2}{T^2} \Delta l$$

$$\Delta g = -\frac{(8(3,14)^2 \cdot 0,54)}{(1,49)^3} \cdot (0,01) + \frac{(4(3,14)^2)}{(1,49)^2} (5 \times 10^{-4})$$

$$\Delta g = -0,12 m/s^2$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai percepatan gravitasi di sekitar wilayah tempat parkir FPTK, yaitu $9,59 \text{ m/s}^2 \pm 0,12 \text{ m/s}^2$

4. Data hasil pengukuran percepatan gravitasi di Museum Pendidikan Nasional

Ketinggian tempat (h) = 928,1 mdpl

Tabel 4. Data Pengukuran Museum Pendidikan Nasional

T	T	T ²	
14,82	1,482	2,196	$T_{\text{rata-rata}} = 1,48$
14,63	1,463	2,14	$\Sigma T = 4,428$
14,83	1,483	2,1	$\Sigma T^2 = 6,53$

$$\bullet \quad \Delta T = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3,6654 - (4,468)^2}{2}} = 0,007$$

$$\bullet \quad g = \frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2}$$

$$g = \frac{4(3,14)^2 \cdot 0,54}{(1,48)^2} = 9,72 \text{ m/s}^2$$

$$\bullet \quad \Delta g = -\frac{8\pi^2 \cdot l}{T^3} \Delta T + \frac{4\pi^2}{T^2} \Delta l$$

$$\Delta g = -\frac{(8(3,14)^2 \cdot 0,54)}{(1,48)^3} \cdot (7 \times 10^{-3}) + \frac{(4(3,14)^2)}{(1,48)^2} 5 \times 10^{-4}$$

$$\Delta g = -0,08 \text{ m/s}^2$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai percepatan gravitasi di sekitar wilayah Museum Pendidikan, yaitu $9,72 \text{ m/s}^2 \pm 0,08 \text{ m/s}$.

Berikut seluruh hasil percobaan yang didapatkan

Tabel 5. Data Hasil Pengukuran Percepatan Gravitasi Serta Ketidakpastian Percepatan Gravitasi

Tempat	Ketinggian (mdpl)	Gravitasi	Ketidakpastian
Gedung FIP lantai 10	1018	9,72	0,12
Museum UPI	928,1	9,72	0,08
Gedung JICA	912,24	9,47	0,0009
Parkiran Gedung FPTK	884,42	9,59	0,12

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran dapat diketahui bahwa percepatan gravitasi di berbagai wilayah kampus UPI memiliki nilai yang berbeda-beda tergantung pada kondisi dan ketinggian tempat dimana penelitian dilakukan. Dapat dilihat pada tabel 5 percepatan

gravitasi semakin besar berbanding lurus dengan ketinggian tempat tersebut terhadap permukaan air laut.

Berdasarkan nilai percepatan gravitasi dari beberapa tempat di kampus UPI yang telah di dapat, dari keempat tempat tersebut dapat diketahui bahwasanya nilai rata-rata percepatan gravitasi bumi yang dihasilkan yaitu $9,62 \text{ m/s}^2$.

Dari data-data yang telah dipaparkan, terbukti bahwasanya percepatan gravitasi di beberapa tempat itu berbeda-beda. Perbedaan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor antara lain: Kesalahan dalam pengambilan data, kesalahan pengukuran dan faktor alam (ada gaya luar yang bekerja dan berpengaruh terhadap hasil pengukuran). Hal ini dapat dilihat pada data yang tercantum pada tabel 5, percepatan gravitasi pada parkir Gedung FPTK dengan ketinggian 884,42 di atas permukaan air laut memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai percepatan gravitasi pada Gedung JICA dengan ketinggian 912,24 diatas permukaan air laut. Sedangkan pada Gedung FIP dengan ketinggian 1018 di atas permukaan air laut memiliki nilai percepatan gravitasi yang sebanding dengan nilai percepatan gravitasi di Museum Pendidikan Nasional yang memiliki ketinggian 928,1 di atas permukaan air laut walaupun kedua tempat tersebut memiliki ketinggian yang berbeda. Perbedaan gravitasi juga disebabkan karena adanya ketidakpastian untuk setiap nilai gravitasi yang diukur.

Selain itu, perbedaan dapat terjadi karena kondisi tempat pengambilan data yang berbeda-beda sehingga terjadinya kesalahan pengukuran percepatan gravitasi. Saat mengambil data di gedung JICA lantai 5, Museum UPI, dan gedung FIP lantai 10 dilakukan di luar ruangan sehingga terdapat angin yang menyebabkan gaya gesek terhadap udara sekitar menjadi sangat dan hal ini mempengaruhi hasil pengukuran. Sedangkan saat mengambil data di parkir gedung FPTK dilakukan di dalam ruangan tertutup yang berada di bawah tanah sehingga tidak ada pengaruh angin menjadikan tidak adanya tambahan gaya gesek terhadap udara sekitar saat pengambilan data, dan hal ini menjadi faktor pengaruh pada hasil pengukuran.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terbukti bahwa setiap tempat itu memiliki nilai percepatan gravitasi yang tidak sama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat empat gedung dengan ketinggian dan gravitasi yang berbeda. Gedung JICA lantai 5 memiliki ketinggian 912,24 mdpl, Museum Pendidikan Nasional memiliki ketinggian 928,1 mdpl, gedung Fakultas Ilmu Pendidikan lantai 10 memiliki ketinggian 1018 mdpl, dan parkir gedung Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan memiliki ketinggian 884,42 mdpl. Lalu, nilai gravitasi juga yang telah diperoleh untuk masing-masing gedung yaitu gravitasi di gedung

JICA lantai 5 adalah $9,47 \pm 0,009 \text{ m/s}^2$, Museum Pendidikan Nasional adalah $9,72 \pm 0,08 \text{ m/s}^2$, gedung Fakultas Ilmu Pendidikan lantai 10 adalah $9,72 \pm 0,12 \text{ m/s}^2$, dan parkir gedung Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan adalah $9,59 \pm 0,12 \text{ m/s}^2$. Gravitasi di Museum Pendidikan Nasional dan gedung Fakultas Ilmu Pendidikan lantai 10 memiliki nilai yang sama, yaitu $9,72 \text{ m/s}^2$. Hasil penelitian pun menunjukkan, bahwasanya nilai rata-rata percepatan gravitasi yang dihasilkan dari keempat gedung tersebut adalah $9,62 \text{ m/s}^2$.

Namun, perlu diperhatikan bahwa hasil penelitian juga terdapat rentang ketidakpastian untuk setiap nilai gravitasi yang menunjukkan adanya variasi dalam pengukuran. Oleh karena itu, kita dapat menyimpulkan bahwa kedua gedung tersebut memiliki gravitasi yang mendekati nilai yang sama. Jika kita membandingkan nilai gravitasi tanpa memperhatikan rentang ketidakpastian, Museum Pendidikan Nasional dan gedung Fakultas Ilmu Pendidikan lantai 10 memiliki nilai gravitasi yang lebih tinggi dibandingkan gedung JICA lantai 5 dan parkir gedung Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan. Berdasarkan nilai gravitasi yang diberikan dalam hasil penelitian, Museum Pendidikan Nasional dan gedung Fakultas Ilmu Pendidikan lantai 10 dapat dianggap memiliki tarikan gravitasi yang lebih kuat dibandingkan dengan gedung JICA dan parkir gedung Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan.

DAFTAR REFERENSI

- Aisiyah, M. C., Annas, M. A., Ningrum, I. E., Widodo, A., & Cahyani, H. D. (2022, Mei). Studi Eksperimen Bandul Dalam Menentukan Percepatan Gravitasi Bumi dan Memahami Konsep Gerak Harmonik Sederhana. *Penelitian Indonesia*, 2(3), 393-400. Diambil kembali dari <https://ejournal.yasin-alsys.org/index.php/tsaqofah>
- Bara, F. M., Mako, M. I., Eku, A., & Pau, M. A. (2021, September 13). Analisis Percepatan Gravitasi Menggunakan Aplikasi Phypox Pada Gerak Jatuh Bebas. *Luminous*, 2(2), 11-17. Diambil kembali dari <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/luminous>
- D'Amico, G., Cacciapuoti, L., Jain, M., Zhan, S., & Rosi, G. (2019). Measuring the Gravitational Acceleration with Precision Matter-wave Velocimetry. *European Physical Journal D*.
- Firdaus, T., Erwin, E., & Rosmiati, R. (2019). Eksperimen Mandiri Siswa dalam Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi pada Materi Gerak Jatuh Bebas. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, 11(1). <https://doi.org/10.30599/jti.v11i1.385>
- Jati, B. M. E. (2018). *Pengantar Fisika 1*. Yogyakarta: UGM PRESS.
- Nugroho, H. S., Nurjanah, A., Nugraha, M. G., & Utama, J. A. (2018). *Analisis Pengaruh Gerhana Bulan Total 31 Januari 2018 pada Percepatan Gravitasi Di Permukaan Bumi menggunakan Sensor Photogate pada Bandul Matematis Teroptimalisasi Analisis Pengaruh Gerhana Bulan Total 31 Januari 2018 pada Percepatan Gravitasi Di Permukaan* (M. S. Dr. Endi Suhendi, M.Si. Duden Saepuzaman, M.Pd. (ed.); Vol. 4, Issue 1, pp. 358– 362). Prosiding Seminar Nasional Fisika (SINAFI) 2018.

- Nurhayati, A, R. D. A., & Aslamiyah, S. (2021). Penentuan Nilai Percepatan Gravitasi Bumi dengan Model Gerak Jatuh Bebas di Laboratorium Fisika UIN Ar-Raniry Banda Aceh. *Jurnal Phi: Jurnal Pendidikan Fisika Dan Fisika Terapan*, 2(1).
- Nurullaeli, N., & Astuti, I. A. D. (2018). Pembuatan Graphic User Interface (GUI) untuk Analisis Ayunan Matematis Menggunakan Matlab. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, 10(2). <https://doi.org/10.30599/jti.v10i2.205>
- Priyambodo, U. (2022, Maret 9). *Gravitasi di Permukaan Bumi Berbeda-beda, Ada Lima Penyebabnya*. Dipetik Oktober 14, 2023, dari National Geographic Indonesia: <https://nationalgeographic.grid.id>
- Rahayu, A. Y., Syuhendri, S., & Sriyanti, I. (2019). Analisis Pemahaman Konsep Mahasiswa Pendidikan Fisika Universitas Sriwijaya pada Materi Gravitasi Newton dengan Menggunakan NGCI Dan CRI Termodifikasi. *JURNAL EKSAKTA PENDIDIKAN (JEP)*, 3(1), 65. <https://doi.org/10.24036/jep/vol3-iss1/322>
- Rosita, I., Liliawati, W., & Samsudin, A. (2020). Pengembangan Instrumen Five-Tier Newton's Laws Test (5TNLT) Untuk Mengidentifikasi Miskonsepsi dan Penyebab Miskonsepsi Siswa. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 6(2). <https://doi.org/10.29303/jpft.v6i2.2018>
- Sesa, E., Ulum, M. S., Farhamsa, D., & Samsul. (2018). Penentu Kecepatan Dan Percepatan Benda Berbasis Mikrokontroler Arduino Pada Percobaan Benda Menggelinding Pada Bidang Miring. *Natural Science: Journal of Science and Technology ISSN*, 7(2).
- Siregar, A., & Tamimah, N. (2022). *Fisika Dasar Jilid 2: Mekanika Lanjut (Vol. 2)*. Surabaya: CV. Kanaka Media.
- Subhan, M., Rahmawati, E., Suswanti, L., Yus'iran, & Fatimah. (2022, September). Variasi Ketinggian MDPL terhadap Nilai Percepatan Gravitasi Bumi pada Konsep Gerak Jatuh Bebas (GJB) untuk Pendekatan Pembelajaran. *Pendidikan MIPA*, 12(3), 831-837.
- Tiyas, W. P., Anisa, Z., & Novianto, H. (2023, Februari 24). Pemanfaatan Lato-Lato untuk Menentukan Besaran Percepatan Gravitasi Lokal Menggunakan Teori Getaran Harmonik. *Kimia dan Ilmu Lingkungan*, 1, 17-23.
- Muspa, R., & Suwondo, N. (2020, September). Pengembangan Perangkat Praktikum Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Menggunakan Pegas Berbasis Arduino-Linx-Labview. *Penelitian Pembelajaran Fisika*, 22, 165-175
- Widyaseno, H., D., & Susilo. (2022). Pengembangan Kit Praktikum Atwood Menggunakan Mikrokontroler STM32 Berbasis Pendekatan STEM. *Unnes Physics Education Journal*, 49-56