

ANALISIS PERCEPATAN GRAVITASI BERBASIS VIDEO TRACKING PADA AYUNAN BANDUL

Yolanita Murniaty Elot*, Yovita Angol, Godensia Alus,
Richardo Barry Astro, Adrianus Nasar

Universitas Flores, Jl. Sam Ratulangi Ende NTT

e-mail*: yolanitaelot99@gmail.com

Diterima 30 Desember 2021

Disetujui 17 Agustus 2022

Dipublikasikan 29 Agustus 2022

<https://doi.org/10.33369/jkf.5.2.69-76>

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan percepatan gravitasi bumi lokal berbasis video tracking pada ayunan bandul sederhana. Penelitian ini menggunakan video pada eksperimen ayunan bandul sederhana. Video rekaman diimpor ke aplikasi Tracker untuk mendapatkan periode setiap percobaan dengan panjang tali berbeda. Data panjang tali (l) diukur secara manual dan periode (T) diperoleh melalui analisis video tracking. Data penelitian ditampilkan dalam tabel dan grafik. Analisis data menggunakan persamaan regresi linear antara kuadrat periode dan panjang tali. Besar percepatan gravitasi diperoleh melalui gradient dari persamaan linear kuadrat periode dan panjang tali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besar percepatan gravitasi bumi lokal melalui analisis video tracking sebesar $9,735 \text{ ms}^{-2}$.

Kata kunci: Ayunan Bandul, Video Tracking, Percepatan Gravitasi.

ABSTRACT

This study aims to determine the local earth's gravitational acceleration based on video tracking on a simple pendulum swing. This study uses a video on a simple pendulum swing experiment. The recorded videos are imported into the Tracker app to get the period of each trial with a different rope length. Data on rope length (L) was measured manually and period (T) was obtained through video tracking analysis. Research data is displayed in tables and graphs. Data analysis used linear regression equation between the square of the period and the length of the rope. The magnitude of the acceleration due to gravity is obtained through the gradient of the linear equation of the period and the length of the string. The results showed that the magnitude of the local earth's gravitational acceleration through video tracking analysis was 9.735 ms^{-2} .

Keywords: pendulum swing, video tracking, acceletiation of gravitation

I. PENDAHULUAN

Fisika sebagai bagian dari sains merupakan usaha untuk mencari keteraturan dalam pengamatan manusia pada alam sekitar (1). Ilmuwan berusaha memahami dunia sekitar dengan mencari hubungan antara berbagai besaran fisika. Untuk menentukan bentuk hubungan tersebut, dibutuhkan pengukuran eksperimental yang teliti. Pengukuran yang teliti dan akurat merupakan bagian penting dari fisika. Percepatan gravitasi bumi merupakan hasil dari usaha memahami alam sekitar melalui pengukuran eksperimental. Besar percepatan gravitasi bergantung pada lokasi di permukaan bumi, dan yang umum besarnya adalah $g = 9,8 \text{ ms}^{-2}$ (1).

Eksperimen untuk menentukan percepatan gravitasi bumi dapat dilakukan dengan berbagai cara yakni gerak jatuh bebas, gerak benda pada bidang miring, dan ayunan bandul sederhana. Konsep-konsep fisika yang berhubungan dengan percepatan gravitasi adalah gerak jatuh bebas (2), gerak parabola (*motion in a parabola*) (3), ayunan bandul matematis (*mathematical pendulum*) (4). Percepatan gravitasi bumi telah diamati sejak masa Galileo-Galilei (5). Menurut Daryono (1992) terdapat tiga faktor yang mempengaruhi adanya perbedaan percepatan gravitasi tersebut: pertama,

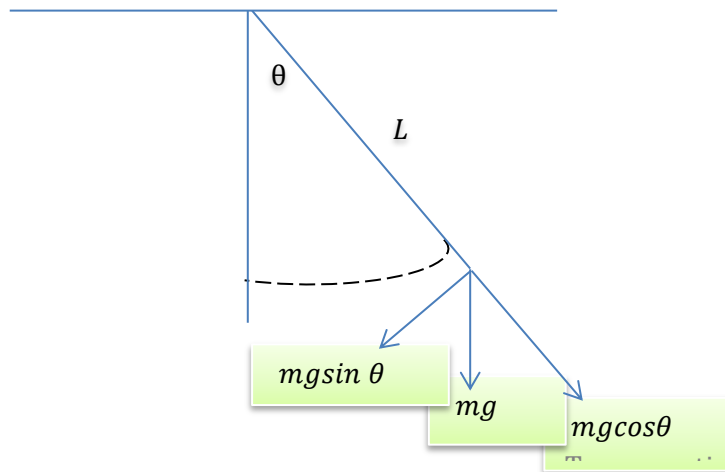
bumi kita tidak benar-benar bulat, percepatan gravitasi bergantung pada jaraknya dari pusat bumi; kedua, percepatan gravitasi tergantung dari jaraknya terhadap permukaan bumi; dan ketiga, kepadatan massa bumi yang berbeda-beda (6). Besar percepatan gravitasi telah banyak dikemukakan yang besarnya $9,8 \text{ m/s}^2$ (7); (2). Pada teori bidang miring, apabila gaya-gaya dalam bidang miring diuraikan kedalam komponen x dan y maka diperoleh persamaan $w \sin \theta - F_g = m \cdot a$. dalam hal ini, $\sum F_y = 0$, F_g diabaikan (permukaan licin) dan w merupakan berat benda sehingga persamaannya menjadi $a = g \sin \theta$ (8).

Penelitian tentang besar g dilakukan dengan menentukan jarak yang ditempuh oleh suatu benda selama benda bergerak t detik dari tempat awal menggunakan konsep gerak jatuh bebas (9). Hasil penelitian-penelitian terdahulu dalam menentukan percepatan gravitasi ada berbagai cara seperti pada penelitian 'Analisis Gerak Jatuh Bebas Dengan Metode Video Based Laboratory (Vbl) Menggunakan Software Tracker' (10), di mana di dalam penelitian tersebut nilai percepatan gravitasi setiap tempat itu berbeda-beda. Di Equator, percepatan gravitasi sekitar $9,78 \text{ ms}^{-2}$, sedangkan di daerah kutub $9,83 \text{ ms}^{-2}$. Selain itu, ada juga pada penelitian yang berjudul 'Penentuan Nilai Percepatan Gravitasi Bumi dengan Model Gerak Jatuh Bebas' (11), yang menyimpulkan bahwa nilai percepatan gravitasi tergantung posisi ketinggian suatu tempat. Pada penelitian tersebut, nilai percepatan gravitasi $9,831302275 \text{ ms}^{-2}$ yang diperoleh melalui eksperimen. Pada eksperimen Pembuatan Graphic User Interface (GUI) untuk Analisis Ayunan Matematis Menggunakan Matlab (12) pada bidang miring berbasis *Microcomputer*, nilai percepatan gravitasinya adalah $9,895 \text{ ms}^{-2}$.

Di Thailand, percepatan gravitasi bumi (g) diukur di dekat provinsi Songkhla, Thailand selatan oleh National Institute of Metrology pada $9,78120 \text{ ms}^{-2}$ (13). Penelitian lain tentang percepatan gravitasi dilakukan dengan video based laboatory pada gerak jatuh bebas. Eksperimen dilakukan dengan merekam benda jatuh bebas pada ketinggian yang bervariasi. Video rekaman tersebut diimpor ke dalam aplikasi tracker. Hasil penelitian diperoleh percepatan rata-rata sebesar $(9,63 \pm 0,33) \text{ ms}^{-2}$ (14). Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk menyelidiki percepatan gravitasi lokal di provinsi Chumphon, garis lintang $10^\circ 24' 0''$ LU dan garis bujur $99^\circ 4' 0''$ BT, adalah dengan gerak jatuh bebas, pendulum sederhana, bandul fisis dan gaya atwood.

Gravitasi adalah hubungan antara benda bermassa yang berupa gaya tarik menarik, besarnya gaya gravitasi dipengaruhi oleh massa benda dan jaraknya, hubungan keduanya adalah perkalian antara kedua massa berbanding lurus sedangkan jarak berbanding kuadrat terbalik terhadap besarnya gaya gravitasi (15). Perubahan gravitasi juga dapat menghitung periode peristiwa ayunan bandul dengan menggunakan persamaan gravitasi Newton. Peristiwa ayunan bandul sangat erat hubungannya dengan gravitasi, dimana benda akan bergerak dari satu sisi ke sisi lainnya akibat tarikan gravitasi bumi. Selain itu gerakan ayunan bandul semakin lama, ayunannya semakin lambat karena adanya gaya peredam (gaya hambat udara).

Dilihat dari fakta yang ada dan sering dijumpai di dunia pendidikan, dalam mengukur ayunan bandul masih banyak dilakukan dengan cara manual baik yang dilakukan oleh siswa maupun yang dicontohkan oleh guru. Sehingga siswa merasa bosan untuk belajar karena grafik yang digambar kurang menarik dan proses kerjanya lama. Tetapi, mengukur secara manual akan lebih paham dan diingat karena cara mengerjakannya terurut. Dengan adanya aplikasi tracker, minat belajar siswa meningkat karena cara mengukurnya mudah tanpa harus dihitung secara manual dan hasilnya lebih mudah terbaca dan proses pengukurannya cepat. Tetapi, aplikasi tracker juga memiliki kelemahan dalam mengukur karena ketika kita melakukan percobaan ayunannya harus jelas, menggunakan kamera yang bagus dan usahakan kameranya tidak goyang sehingga video yang dihasilkan akan terbaca jelas oleh tracker (16).



Gambar 1. Ayunan bandul

Pada Gambar 1 di atas, suatu benda digantungkan pada suatu titik tetap dengan seutas tali yang dianggap tidak bermassa, kemudian tali tersebut disimpangkan sebesar sudut θ terhadap garis vertikal maka gaya pulihnya adalah (17):

$$F_t = ma_t$$

$$mg \sin \theta = m \frac{d^2 S}{dt^2} \quad (1)$$

Untuk sudut θ tanda negatif menunjukkan arah gaya pulih berlawanan dengan sudut simpangan θ yang kecil, sehingga $\sin \theta = S = L \cdot \theta$, dengan S adalah busur lintasan benda dan L adalah panjang tali. Bandul ditarik kemudian dilepas dari titik kesetimbangannya dengan memberikan sudut simpangan θ yang kecil.

$$F = -\frac{mg}{L} S \quad (2)$$

Jika gaya gesekan terhadap udara dan gaya puntiran pada tali diabaikan maka persamaan (1) menjadi:

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = -g \sin \theta$$

$$\frac{d^2 (L\theta)}{dt^2} = -g \sin \theta$$

$$L \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -g \sin \theta$$

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} = -\frac{g}{L} \theta$$

$$\theta = \theta_{max} \omega t$$

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} = -\omega^2 \theta = -\frac{g}{L} \theta$$

$$\omega^2 = \frac{g}{L} \quad (3)$$

Substitusikan $\omega = 2\pi f$, maka diperoleh:

$$(2\pi f)^2 = \frac{g}{L}$$

$$g = 4\pi^2 f^2 L$$

$$g = 4\pi^2 \left(\frac{1}{T}\right)^2 L$$

$$g = 4\pi^2 \frac{1}{T^2} L$$

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

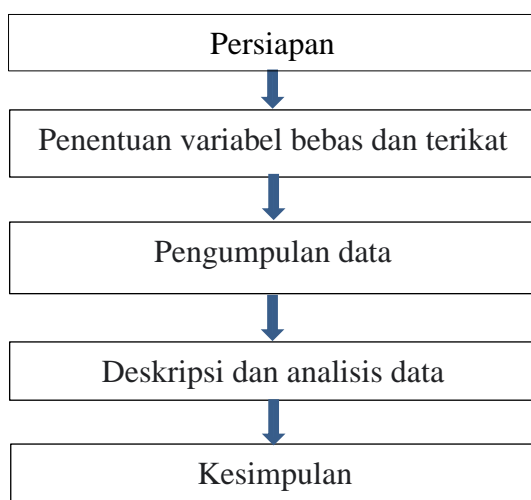
Dari persamaan (4), maka persamaan percepatan gravitasi menjadi:

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

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan percepatan gravitasi dengan metode video tracking melalui ayunan bandul.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode eksperimen. Praktikum ini dilakukan untuk menganalisis percepatan gravitasi berbasis video tracking pada ayunan bandul dengan memanfaatkan aplikasi tracker. Eksperimen direkam dengan menggunakan smartphone kemudian analisis video menggunakan aplikasi tracker untuk melihat gerakan bandul (Erdamansyah, 2013). Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Universitas Flores yang meliputi persiapan, penentuan variabel bebas dan variabel terikat, pengumpulan data, analisis dan penarikan kesimpulan (18). Struktur penelitian eksperimen tampak pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Bagan struktur penelitian

Dari Gambar 2 di atas, tahapan-tahapan penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut.

Persiapan. Pada tahap persiapan ini, peneliti menyiapkan benang ikat, beban timbangan 100 gram, mistar ukur, busur sudut, statif, kamera, dan laptop. Statif diatur pada tempat yang agak terang sehingga dapat terekam video dengan terang dan jelas. Laptop yang digunakan harus sudah terinstal aplikasi Tracker.

Penentuan variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah panjang benang (L) dan variabel terikatnya adalah periode (T). Panjang benang diukur secara manual dengan menggunakan mistar dan panjang benang selalu bervariasi untuk setiap perlakuan. Periode (T) ayunan diperoleh dengan mengamati data tampilan pada aplikasi Tracker di laptop. Pencatatan periode dilakukan untuk setiap panjang benang yang berbeda.

Pengumpulan data. Pada pengumpulan data, panjang benang bervariasi dari 25 cm sampai 150 cm dengan 12 kali perlakuan. Selanjutnya pada ujung benang diikat beban 100 gram dan ujung lainnya diikat pada statif. Beban yang sudah diikat benang ditarik membentuk simpangan sekitar 10^0 dengan tiang vertikal statif. Setelah mencapai 10^0 simpangan, beban dilepaskan sehingga membentuk ayunan bolak-balik. Ayunan bolak-balik dihentikan jika sudah mencapai 10 kali putaran. Di sini tidak perlu mencatat waktu pada stopwatch. Perekaman dilakukan pada saat ayunan bandul dilepaskan sampai ayunan bandul ke sepuluh. Video rekaman ayunan bandul diimpor ke aplikasi Tracker di laptop dan diatur agar mendapatkan periode ayunannya. Baca periode pada tampilan di layar monitor laptop.

Deskripsi dan analisis data. Deskripsi data berupa panjang benang (m) dan periode (s). Panjang benang dan periode ditampilkan dalam bentuk tabel. Data dianalisis dengan menggunakan persamaan regresi linear $Y = aX + b$, di mana panjang benang (L) sebagai X dan kuadrat periode (T^2) sebagai variabel Y . Penentuan besar percepatan gravitasi dihitung dari gradien persamaan linearnya. Terakhir adalah menarik kesimpulan berdasarkan data.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

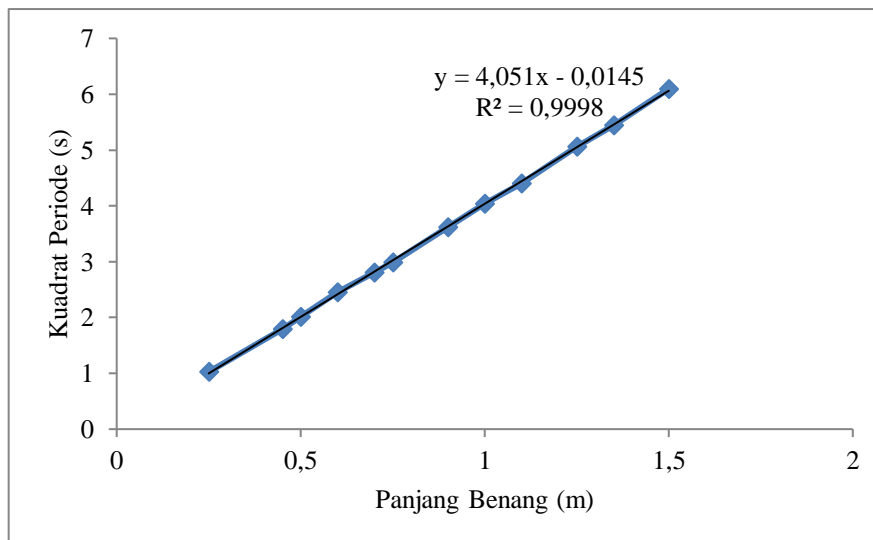
3.1 Hasil

Data panjang benang dan periode ayunan ditampilkan dalam Tabel 1 berikut. Periode ditampilkan juga dalam bentuk kuadrat karena mengikuti pers. (5) di atas.

Tabel 1. Data Panjang Benang dan Periode Ayunan Bandul

No	L	T	T ²
1	0,25	1,013	1,026
2	0,45	1,339	1,793
3	0,50	1,418	2,011
4	0,60	1,566	2,452
5	0,70	1,676	2,809
6	0,75	1,730	2,993
7	0,90	1,902	3,618
8	1,00	2,010	4,040
9	1,10	2,099	4,406
10	1,25	2,251	5,067
11	1,35	2,333	5,443
12	1,50	2,469	6,096

Berdasarkan Tabel 1 di atas, tampak bahwa semakin panjang benang maka periode juga semakin bertambah. Hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan regresi linear maka tampak hasil seperti pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Grafik Hubungan Panjang Tali dengan Kuadrat Periode

Berdasarkan Gambar 3 di atas, hubungan antara panjang tali (L) dengan periode kuadrat (T²) di atas diperoleh $Y = 4,0509X - 0,0145$ dengan gradien atau nilai a sebesar 4,0509. Berdasarkan persamaan (4) dimana $T^2 = \frac{4\pi^2 L}{g}$, equivalen dengan $Y = aX + b$, dimana $a = \frac{4\pi^2}{g}$, sehingga $g = \frac{4\pi^2}{a} = 9,735ms^{-2}$.

3.2 Pembahasan

Pengukuran percepatan gravitasi bumi mengalami perkembangan dalam hal pemerolehan data. Data eksperimen fisika diperoleh dengan menggunakan alat ukur standar yang memenuhi kriteria validitas dan reliabilitas. Pada eksperimen bandul sederhana, periode ayunan dapat diperoleh dengan menggunakan pewaktu atau *stopwatch* dan pada analisis *video tracking*, periode

diperoleh dari tampilan grafis pada program Tracker. Periode pada skala di aplikasi tracker ini berupa gelombang sinusoida sehingga dapat dengan mudah menentukan periodenya. Selain itu, dari gelombang sinusoida tersebut dapat menampilkan posisi beban setiap saat karena data dapat terekam melalui ayunan video tracker ini.

Hasil penelitian tentang percepatan gravitasi bumi menggunakan analisis video tracker ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian lain dengan menggunakan peralatan lain atau aplikasi digital lainnya. Penelitian tentang besar percepatan gravitasi pada gerak jatuh bebas dengan bantuan perangkat digital Phyphox menghasilkan nilai $g = 9,760 \text{ ms}^{-2}$ (19). Nilai ini yang mendekati nilai standar $g = 9,8 \text{ ms}^{-2}$. Penelitian lain juga dilakukan dengan metode *leak tank* yaitu perangkat eksperimental mekanisme pengeringan tangki di bawah gravitasi yang terdiri dari tangki silinder dengan lubang melingkar di bagian bawah tengah tangki, di mana $g = 9,89 \text{ ms}^{-2}$ (20). Penelitian tentang percepatan gravitasi dilakukan dengan ayunan bandul sederhana yang hasilnya $g = 9.655678 \text{ ms}^{-2}$ di mana hasil ini dibandingkan dengan nilai g pada tempat lain yaitu $g = 9,7897034 \text{ ms}^{-2}$ (21).

Dari berbagai hasil eksperimen dengan menggunakan peralatan yang berbeda dan pada tempat yang berbeda, maka hasil eksperimen ayunan bandul sederhana melalui analisis video tracking memperoleh hasil $g = 9,735$. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan video tracking dapat diandalkan untuk menentukan percepatan gravitasi dapat diandalkan. Pelaksanaan analisis dan prosedur analisis video dengan aplikasi tracking sangat mudah dan dapat digunakan sebagai media dalam pembelajaran fisika di sekolah.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai percepatan gravitasi bumi dengan analisis video tracking adalah $9,735 \text{ m/s}^2$. Dengan demikian analisis video tracking dapat menjadi salah satu pilihan untuk memperoleh hasil penelitian pada eksperimen fisika. Dapat disimpulkan bahwa analisis video tracking pada ayunan bandul sederhana menggunakan aplikasi tracker dapat mengukur percepatan gravitasi bumi pada ayunan bandul sederhana.

4.2 Saran

Peneliti menyarankan kepada peneliti selanjutnya agar menganalisis kembali besar nilai percepatan gravitasi, serta menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi perbedaan tersebut secara lebih mendalam sehingga pada penelitian selanjutnya diperoleh data yang lebih teliti yang nantinya bisa dikembangkan sebagai dasar analisis awal untuk menentukan percepatan gravitasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Ketua Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Flores yang telah memberikan izin penggunaan laboratorium sebagai tempat penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. C Giancoli D. Physics Principles with Application 6th Edition. Vol. 110, Pearson. 2017. 1689–1699 p.
2. Walker J, Halliday D, Resnick R. Fundamentals of Physics Halliday & resnick 10ed. Wiley. 2014. 1448 p.
3. Benenson W, Harris JW, Stocker H, Lutz H. Handbook of Physics. Frankfurt am Main, Germany: Verlag Harri Deutsch; 2000.
4. Benenson W, Harris JW, Stocker H, Lutz H. Handbook of Physics. Frankfurt am Main, Germany: Verlag Harri Deutsch; 2000.

5. Tate DR. Acceleration due to gravity at the National Bureau of Standards. *Journal of Research of the National Bureau of Standards, Section C: Engineering and Instrumentation*. 1968;72C(1):1.
6. Artawan P. Analisis variatif gravitasi bumi di berbagai koordinat dengan ayunan sederhana. *Jurusan Pendidikan Fisika*. 2013;396–9.
7. Brown RG. *Introductory Physics I: Elementary Mechanics*. Durham, NC 27708-0305: Duke University Physics Department;
8. Astuti IAD. Pengembangan Alat Eksperimen Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Berdasarkan Teori Bidang Miring Berbasis Microcomputer Based Laboratoy (MbL). *Factor Excata*. 2016;9(2):114–8.
9. Ristiawan A. Analisis Gerak Jatuh Bebas Dengan Metode Video Based Laboratory (Vbl) Menggunakan Software Tracker. *Journal of Teaching and Learning Physics*. 2018;3(2):26–30.
10. Artawan P. Analisis variatif gravitasi bumi di berbagai koordinat dengan ayunan sederhana. *Jurusan Pendidikan Fisika*. 2013;396–9.
11. Nurhayati, Reski Dewi Ayu A dan SASlamiyah. *Jurnal Phi Penentuan Nilai Percepatan Gravitasi Bumi dengan Model Gerak Jatuh Bebas di*. 2021;2(1):15–8.
12. Agustina I, Astuti D. Pembuatan Graphic User Interface (GUI) untuk Analisis Ayunan Matematis Menggunakan Matlab. 2018;10(2):48–56.
13. Suwanpayak N, Sutthiyon S, Kulsirirat K, Srisongkram P, Teeka C, Buranasiri P. A comparison of gravitational acceleration measurement methods for undergraduate experiment. *J Phys Conf Ser*. 2018;1144(1):0–6.
14. Ristiawan A. Analisis Gerak Jatuh Bebas Dengan Metode Video Based Laboratory (Vbl) Menggunakan Software Tracker. *Journal of Teaching and Learning Physics*. 2018;3(2):26–30.
15. 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;V:SNF2016-CIP-167-SNF2016-CIP-170.
16. Iii K, Soepomo JP. PEMANFAATAN TRACKER DALAM EKSPERIMEN AYUNAN BANDUL TEREDAM UNTUK PENENTUAN KOEFISIEN VISKOSITAS UDARA DENGAN HUKUM LANDAU-LIFSHITZ. 2013;5(1986):43–59.
17. Chusni MM. Penentuan Besar Percepatan Gravitasi Bumi Menggunakan Ayunan Matematis Dengan Berbagai Metode Pengukuran. *Scientiae Educatia*. 2017;6(1):47.
18. Khoirina M, Cari C, Sukarmin. ANALYSIS OF SPRING'S CONSTANT VALUE BY COMBINING THE CONCEPTS OF HOOKE'S LAW AND ARCHIMEDES' LAW. *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika*. 2018;3(2):55–8.
19. Kittiravechote A, Sujariththam T. Measuring the acceleration of gravity using a smartphone, A4-papers, and a pencil. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020;29(7 Special Issue):884–9.
20. Dachi R, Setiawan I. Measurement of gravitational acceleration with the leak tank method. *Journal of Physics: Theories and Applications*. 2018;2(1):19.

21. Sani MH, Tijjani Baraya J, Mu'awuya SM, Abdulkarim A, Student PG. Comparison of Theoretical and Measured Acceleration Due to Gravity. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* (An ISO. 2007;3297(2):3787–97.