

PENENTUAN PERCEPATAN GRAVITASI BUMI LOKAL MENGGUNAKAN MODEL OSILASI GERAK PENDULUM

Usayidah, Endah Rahmawati

Jurusan Fisika, FMIPA, UNESA, E-mail usay.sukses@gmail.com

Abstrak

Percepatan gravitasi bumi lokal dapat ditentukan melalui beberapa percobaan, diantaranya adalah percobaan menggunakan pendulum fisis. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan percepatan gravitasi bumi lokal melalui percobaan sistem gerak pendulum. Pada penelitian ini telah dirancang apparatus sistem gerak pendulum yang terdiri dari sistem mekanik dan sistem elektronik. Sistem mekanik berupa pendulum fisis yang terdiri dari batang dan bandul. Sistem elektronik terdiri dari sensor *rotary encoder* yang dipasang di ujung batang pendulum. Sensor *rotary encoder* yang terhubung dengan mikrokontroler merekam posisi pendulum pada setiap waktu. Sehingga diperoleh nilai periode setiap ayunan. Periode osilasi digunakan untuk mengukur nilai percepatan gravitasi bumi lokal. Perhitungan nilai percepatan gravitasi bumi dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan persamaan *simple pendulum* dan persamaan kombinasi pendulum fisis. Pengambilan data dilakukan dengan beberapa perubahan variabel, diantaranya panjang batang 0,52; 0,57; dan 0,63 m, sudut simpangan 4°, 5°, 6°, 8°, 10°, 15° dan 20°, serta massa pendulum 357,5 gram dan 472,5 gram. Dari perubahan variabel-variabel tersebut diperoleh nilai percepatan gravitasi bumi menggunakan pendekatan *simple pendulum* dengan nilai kesalahan maksimal 2,15% dengan nilai berkisar antara 9,75 m/s² sampai 9,99 m/s² dan nilai percepatan gravitasi bumi lokal menggunakan pendekatan kombinasi pendulum fisis berkisar antara 9,67 m/s² sampai 9,92 m/s² dengan maksimal error 1,47%.

Kata Kunci : Periode, Sensor *Rotary encoder*, Percepatan gravitasi bumi, dan Osilasi pendulum

Abstract

Local gravitational acceleration can be determined through several experiments, including experiments using physical pendulum. This study aims to determine the local gravitational acceleration through experiments pendulum motion system. This study has been designed apparatus pendulum motion system which consists of a system of mechanical and electronic systems. Mechanical systems form consisting of a physical pendulum and the pendulum rod. Electronic systems comprised of sensors rotary encoder mounted on the end of the pendulum rod. Sensors rotary encoder connected to the microcontroller recording the position of the pendulum at any time. Thus obtained value period of each swing. The period of oscillation is used to measure value of local gravitational acceleration. Calculation of the value of the gravitational acceleration is done in two ways: using a simple pendulum equation and the equation combination of physical pendulum. Data collection was performed with several changes of variables, including rod length 0.52; 0.57; and 0.63 m, angle of deviation of 4°, 5°, 6°, 8°, 10°, 15° and 20°, and the pendulum mass of 357.5 grams and 472.5 grams. From thus variables changes obtained values of gravity acceleration using simple pendulum approach to the value of the maximum error of 2.15% with a value ranging between 9.75 m/s² to 9.99 m/s² and the local earth gravity acceleration value approach the combination of the physical pendulum ranging from 9.67 m/s² to 9.92 m/s² with a maximum error of 1.47%.

Key words: Period, Sensor Rotary encoder, gravitational acceleration, and the pendulum Oscillations

PENDAHULUAN

Percobaan penentuan percepatan gravitasi bumi lokal dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya adalah menggunakan sistem pegas-massa dan sistem gerak pendulum (Pain, 2005). Kelebihan dari sistem pegas-massa adalah gangguan friksi yang dialami relatif kecil, namun osilasi yang sulit diamati. Kesulitan lainnya adalah kekakuan pegas akan berkurang jika telah digunakan berulang-ulang. Dengan mempertimbangkan kekurangan dari metode pegas-massa, maka penelitian ini mengkaji dinamika sistem gerak pendulum sebagai model sistem yang berosilasi untuk menentukan percepatan gravitasi bumi lokal.

Sistem gerak pendulum memiliki kelebihan dalam hal pelaksanaan percobaan dan ketersediaan bahan baku.

Osilasi pada percobaan gerak pendulum mudah diamati jika dibandingkan dengan sistem pegas-massa. Pada umumnya data yang diamati pada pengambilan data percobaan sistem gerak pendulum adalah periode osilasinya. Kendala yang dialami dalam penelitian dengan topik tersebut adalah sulitnya membuat sistem mekanik gerak pendulum yang stabil dan pengukuran periode yang tepat. Sampai saat ini percobaan menentukan percepatan gravitasi melalui sistem gerak pendulum masih perlu dilakukan terutama dalam proses pembelajaran mata kuliah fisika dasar. Penelitian dan pengembangan sistem gerak pendulum skala laboratorium akan lebih efektif dengan menggunakan alat peraga bandul fisis yang relevan dalam percobaan sistem

gerak yang berosilasi. Sehingga konsep pada gerak osilasi dapat dipahami dengan mudah.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai percepatan gravitasi bumi lokal menggunakan model sistem osilasi gerak pendulum. Sistem pendulum dalam penelitian ini memanfaatkan sensor *rotary encoder*. Sensor inilah yang dapat merekam posisi sudut dari gerak osilasi pendulum dalam setiap mikrosekond oleh mikrokontroler Arduino melalui USB *port* ke komputer. Data yang diperoleh akan diolah menjadi bentuk kurva non-linier, sehingga dapat menghasilkan data yang seharusnya sesuai dengan nilai percepatan gravitasi yang konstan. Dengan alat yang sederhana dan biaya yang relatif murah, metode dengan menggunakan *rotary encoder* ini dapat dijadikan sebagai eksperimen menentukan percepatan gravitasi bumi lokal seperti yang dilakukan oleh Torzo dan Peranzoni (2009). Faktor redaman pada sistem ini sangat berpengaruh terhadap data yang diperoleh, dikarenakan dalam laboratorium percobaan kondisi tidak benar-benar ideal. Namun pada konteks kali ini nilai periode hanya diambil dari data yang berosilasi harmonik dengan sudut simpangan awal yang tidak terlalu besar.

TEORI DASAR

Dikatakan terjadi osilasi harmonik adalah apabila suatu sistem mengalami gerak periodik dan gerak osilasi. Gerak periodik merupakan gerak berulang pada waktu yang sama, sedangkan gerak osilasi adalah gerak berulang pada lintasan yang sama, sehingga gerak dari sistem pendulum dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan osilasi harmonik yang dituliskan pada persamaan berikut ini

$$x(t) = A \cos (\omega t + \theta) \quad (1)$$

Dengan $x(t)$ adalah posisi partikel setiap saat, A merupakan amplitudo. Sehingga dari persamaan tersebut dapat ditentukan nilai periode ayunan untuk sistem pendulum dengan pendekatan pendulum sederhana yang dimana massa tali dianggap tidak bermassa, diperoleh persamaan sebagai berikut

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

Dengan l adalah jarak beban dengan ujung putaran sistem, dari persamaan 2 diperoleh nilai percepatan gravitasi bumi lokal.

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

Namun sistem yang dibuat adalah sistem gerak dari pendulum fisis yang bagaimanapun harus memperhitungkan nilai momen inersia batang. Dengan persamaan 4 berikut ini akan diperoleh nilai percepatan gravitasi bumi menggunakan teori kombinasi dari pendulum fisis

$$g = \frac{4\pi^2 (\frac{1}{3}ml^2 + \frac{1}{2}M(R_1^2 + R_2^2) + ML^2)}{(m\frac{l}{2} + ML)T^2} \quad (4)$$

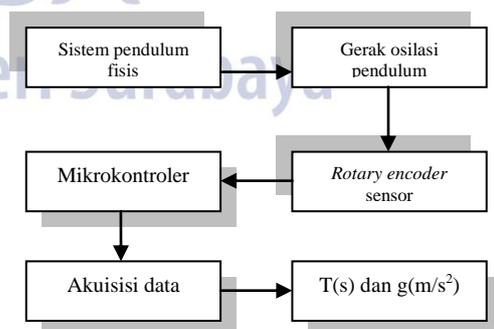
Dengan momen inersia sistem pendulum kombinasi terdiri dari momen batang yang diputar diujung dan momen inersia dari beban terhadap pusat massa sistem.

METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

Penelitian skripsi ini merupakan penelitian berbasis Laboratorium yang mempelajari tentang sistem osilasi gerak pendulum dalam menentukan nilai percepatan gravitasi bumi lokal. Mekanika sistem yang meliputi adalah teknik gerak osilasi, perekaman atau pengukuran, dan perhitungan. Osilasi yang ditimbulkan dari pendulum adalah langkah awal pengambilan data, osilasi gerak pendulum direkam dengan menggunakan sensor *rotary encoder*. Teknik perhitungan dilakukan setelah mendapatkan periode yang diperoleh dari waktu jalan pendulum bergerak terhadap jumlah ayunan, sehingga persamaan penentuan nilai percepatan gravitasi bisa digunakan.

Sistem instrumentasi pada penelitian ini meliputi mikrokontroler yang modern yaitu Arduino yang berfungsi untuk mengolah akuisisi data dengan memonitor jalannya posisi sudut dari gerak pendulum yang berosilasi. Nilai percepatan gravitasi didapatkan setelah perhitungan pada persamaan 4, dan nilai periode yang bergantung pada panjang batang pendulum dari pusat massa beban bandul. Pada gambar 1 alur yang menjelaskan jalannya penelitian dengan hasil akhir berupa nilai percepatan gravitasi. Osilasi pada sistem gerak pendulum memang teramat sangat jelas, namun apabila menggunakan sistem yang manual akan menyebabkan data yang diperoleh kurang efektif. Sehingga dibutuhkan data akuisisi yang bertujuan untuk mengurangi ketidakakuratan data, dengan menggunakan metode analisis data non-linier, setiap posisi sudut dari gerak pendulum akan terekam.

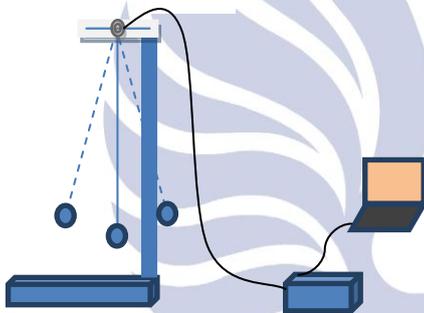


Gambar 1 Diagram blok sistem gerak pendulum dalam menentukan periode untuk mendapatkan nilai percepatan gravitasi bumi lokal

Dari percobaan diperoleh hubungan antara posisi sudut terhadap waktu, sehingga persamaan 1 dapat terpenuhi dengan hasil pada gambar 3.

B. Aparatus dan Instrumen Penelitian

Pada penelitian penentuan percepatan gravitasi bumi lokal ini, aparatus yang digunakan adalah sebuah bandul dengan sistem fisis yang digantung pada statif menggunakan perangkat alumunium dengan panjang batang maksimal 64 cm, bermassa 29,54 gram, dikarenakan apabila menggunakan sistem bandul matematis akan sulit untuk mendapat keadaan yang stabil dan pada saat pendulum digerakkan, tali cenderung akan memutar bukan bergerak secara osilasi. Instrumen penelitian ini adalah sistem pengukuran yang berbasis mikrokontroler Arduino yang terdiri dari sensor *rotary encoder* berfungsi memonitor posisi sudut setiap mikrosekond. Gambar 2 di bawah merupakan sketsa alat yang dirancang dengan tujuan mempermudah dalam pengambilan data, mikrokontroler mengirimkan data pada komputer melalui USB *port* sehingga tidak membutuhkan sumber tegangan yang lain.



Gambar 2 Rancangan pendulum dan posisi sensor

D. Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, teknik pengumpulan data diperoleh dari serial monitor yang ditampilkan oleh mikrokontroler. Arduino yang dipasang pada port komputer melalui kabel USB yang berfungsi sebagai sumber tegangan 5V dan terhubung dengan sensornya. Data posisi sudut setiap mikrosekond didapatkan dari pergerakan sensor yang seporos dengan ujung batang dari pendulum, sedangkan periode diperoleh melalui perhitungan waktu jalan pendulum bergerak dibagi berapa kali ayunan yang dapat dikatakan satu getaran. Dengan menggunakan metode non-linier pada pendulum fisis dengan panjang dan massa batang berturut-turut adalah 0,64 m dan 29,54 gram, massa pendulum 357,5 dan 427,5 gram.

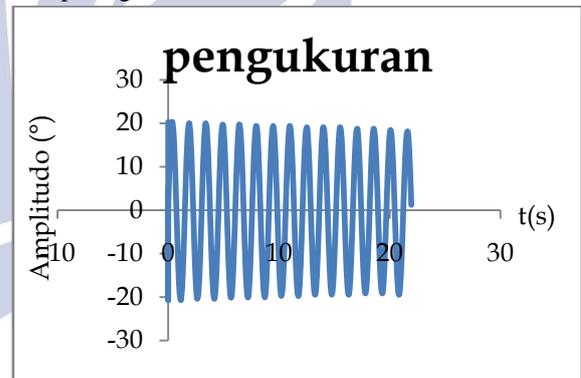
E. Teknik Pengolahan Data

Penelitian penentuan percepatan gravitasi bumi ini dilakukan dengan dua metode pengolahan data yang berbeda dengan metode pengolahan seperti biasanya. Pertama adalah sistem pendulum yang digunakan merupakan bandul fisis, dikatakan bandul fisis yaitu suatu benda tegar yang berosilasi bebas pada sumbu tertentu. Dalam hal ini nilai percepatan gravitasi bumi untuk pendulum fisis kombinasi akan dibandingkan dengan nilai g pada perumusan sistem pendulum sederhana (*simple pendulum*) dikarenakan massa batang yang relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan massa beban yang digantungkan. Massa batang dengan panjang maksimum 64 cm adalah 29,54 gram, sedangkan massa benda pada percobaan ini adalah 357,5 dan 427,5 gram.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Pada penelitian dengan tujuan menentukan nilai percepatan gravitasi bumi lokal dengan metode osilasi pendulum telah dilakukan. Dengan menggunakan sensor *rotary encoder* sebagai perekam sudut setiap mikrosekond sehingga didapatkan bentuk gelombang osilasi dari hubungan sudut simpangan terhadap waktu yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3 Grafik hubungan antara amplitudo ($^{\circ}$) terhadap waktu jalan (s) pada panjang lengan 57 cm dan massa beban 357 gram

Metode yang digunakan adalah pengukuran periode menggunakan seperangkat alat dan instrumen seperti yang terlihat pada gambar 4 dengan keluaran berupa akuisisi data yang akan diolah menjadi bentuk variabel yang dihasilkan, diantaranya yaitu sudut simpangan, jumlah ayunan (n), periode (T), waktu jalan setiap mikros (t), dan dengan menggunakan persamaan 3 untuk nilai g sebagai pendulum sederhana dan persamaan 4 untuk nilai g sebagai pendulum fisis kombinasi diperoleh serta dapat ditampilkan nilai percepatan gravitasi bumi di tempat percobaan.



Gambar 4 Perancangan alat ukur penentuan percepatan gravitasi bumi

Pengujian sensor dengan menggunakan alat ukur penentuan sudut yaitu busur. Pengujian tersebut dilakukan bertujuan untuk mengetahui alat terlebih dahulu agar dapat disamakan dengan teori dan dikalibrasi, sehingga didapatkan hasil counter yang mewakili setiap 1°. Pada pengukuran nilai periode untuk mengetahui hubungan antara panjang batang dengan kuadrat dari periode, dan hubungan itu akan dibandingkan dengan hasil perhitungan secara teoritik menggunakan grafik.

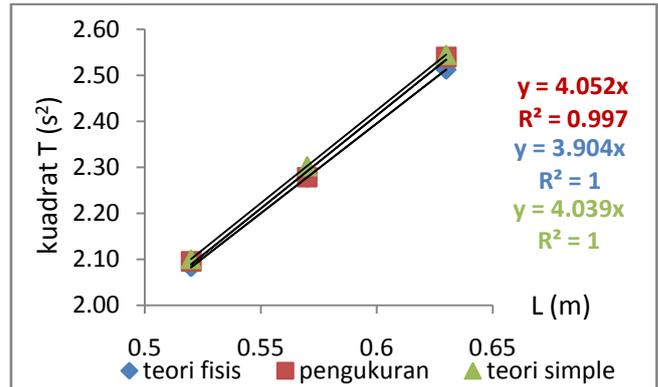
Perbandingan nilai pengukuran periode dilakukan dengan teori yang menggunakan dua persamaan yang berbeda yaitu persamaan untuk osilasi pendulum sederhana dan osilasi pada pendulum fisis kombinasi. Dimana yang dimaksudkan dengan $T_{\text{teori simple}}$ adalah periode perhitungan dengan menggunakan teori pendulum sederhana, $T_{\text{teori fisis}}$ merupakan periode perhitungan dengan menggunakan persamaan untuk pendulum fisis kombinasi dan dibandingkan dengan T_{terukur} yang diperoleh dari pengambilan data. Sehingga didapatkan nilai g simple yaitu percepatan gravitasi terukur yang menggunakan persamaan simple pendulum, dan g fisis adalah nilai percepatan gravitasi bumi terukur menggunakan persamaan kombinasi pendulum fisis.

Tabel 1 Nilai pengukuran periode pada sudut 4°

No	L(m)	T_{terukur}^2 (s ²)	$T_{\text{teori fisis}}^2$ (s ²)	$T_{\text{teori simple}}^2$ (s ²)	g fisis (m/s ²)	g simple (m/s ²)
1	0.52	2.10	2.08	2.10	9.72	9.80
2	0.57	2.28	2.28	2.30	9.77	9.89
3	0.63	2.54	2.51	2.55	9.67	9.79

Dilihat dari gambar di bawah, didapatkan persamaan regresi untuk hubungan panjang batang (m) dengan kuadrat dari periode (s²) pada pengukuran adalah $y=4,052x$, dimana nilai yang dikontrol senilai 4,052 dengan hubungan melalui persamaan $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{mg}}$ dengan periode (T) adalah sebagai y dan panjang batang (l) sebagai x sehingga . Dengan nilai korelasi $R^2=0,997$

yang berarti bahwa sebesar 99,7 % kenaikan panjang batang (m) berpengaruh terhadap nilai kuadrat dari periode (s²) yang artinya hubungan l(m) dengan T²(s²) adalah sangat kuat.



Gambar 5 Grafik Hubungan antara panjang batang (m) dengan kuadrat dari periode (s²) pada sudut 4° pada massa 357 gr

B. Pembahasan

Pengambilan data dilakukan dengan banyak variabel manipulasi diantaranya adalah sudut simpangan, panjang lengan, dan massa beban. Namun yang ditampilkan pada grafik adalah hubungan antara panjang lengan dengan kuadrat periode, hal itu dikarenakan dua dari variabel tersebut sangat berpengaruh dengan hasil nilai percepatan gravitasi bumi lokal. Dalam penelitian ini nilai g diperoleh melalui 2 persamaan yang berbeda, yang pertama adalah nilai g menggunakan pendekatan persamaan simple pendulum pada persamaan 3. Hal tersebut masih dilakukan karena meninjau massa batang yang jauh lebih kecil dari massa beban, sehingga dianggap tidak bermassa seperti pada kasus pada bandul matematis. Dan yang kedua adalah dengan menggunakan persamaan pendulum fisis kombinasi, kenapa disebut dengan kombinasi dikarenakan yang digantungkan pada sistem tidak hanya benda tegar saja, namun ada bandul yang dijadikan sebagai beban dan bagaimanapun sistem kali ini merupakan sistem pendulum fisis sehingga momen inersia sistem perlu diperhitungkan.

PENUTUP

A. Kesimpulan

Telah dirancang sistem osilasi gerak pendulum yang berguna menentukan nilai percepatan gravitasi bumi lokal dengan beberapa keadaan yang menunjukkan bahwa sistem gerak pendulum pada pengukuran ini berosilasi harmonik. Dengan hasil data yang telah diperoleh, membuktikan bahwa redaman amplitudo tidak mempengaruhi nilai periode ayunan, sehingga untuk perumusan penentuan percepatan gravitasi boleh mengabaikan kajian teori untuk sistem yang teredam.

Dalam penelitian ini, perancangan alat difokuskan untuk mengukur periode ayunan yang terjadi pada sistem osilasi pendulum. Dengan menggunakan sensor *rotary encoder* yang berfungsi sebagai perekam sudut simpangan yang berosilasi dan didapatkan periode ayunan dengan mengubah beberapa variabel diantaranya adalah panjang batang, massa beban, dan sudut ayunan yang berkisar 4° , 5° , 6° dan 8° untuk ketentuan amplitudo kecil selanjutnya adalah 10° , 15° dan 20° adalah sudut awal atau amplitudo besar.

Nilai percepatan gravitasi bumi lokal yang telah ditentukan dengan besar $9,78 \text{ m/s}^2$ (Khairurrijal, dkk., 2012) menjadi acuan hasil akhir pengukuran data dan sebagai salah satu tujuan dari penelitian ini. Berdasarkan hasil data pengukuran diperoleh nilai percepatan gravitasi bumi menggunakan pendekatan *simple pendulum* dengan nilai kesalahan maksimal 2,15 % dengan nilai berkisar antara $9,75 \text{ m/s}^2$ sampai $9,99 \text{ m/s}^2$ dan nilai percepatan gravitasi bumi lokal menggunakan pendekatan kombinasi pendulum fisis berkisar antara $9,67 \text{ m/s}^2$ sampai $9,92 \text{ m/s}^2$ dengan maksimal error 1,47%. Berdasarkan hasil data pengukuran percepatan gravitasi bumi lokal pada penelitian ini dapat dikatakan akurat dan presisi.

B. Saran

Dalam pengembangan pembelajaran fisika melalui kajian terstruktur tentang pemodelan sistem gerak pendulum untuk menentukan percepatan gravitasi bumi lokal telah dilakukan. Hambatan pada penelitian ini adalah sulitnya membuat sistem mekanik yang benar-benar ideal, dikarenakan pada osilasi pendulum ini mengabaikan sistem yang teredam. Penggunaan sistem pendulum fisis dengan batang benda tegar dengan tujuan sistem tidak memutar pada saat berosilasi. Peredaman dari sistem osilasi yang bergerak akan terekam oleh sensor. Dengan biaya yang rendah namun sensor tersebut dapat merekam pergerakan osilasi pendulum sampai berhenti, dan jelas osilasi yang terjadi merupakan osilasi yang teredam.

DAFTAR PUSTAKA

- Halliday, David dan Robert Resnick. 1989. *PHYSICS*. 3th ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Vadas, Gintautas dan Alfred Hubler. 2009. A simple, low cost, data-logging pendulum built from a computer mouse. *Physics Education*
- Torzo, Giacomo and Paolo Peranzoni. 2009. The Real pendulum: theory, simulation, experiment.

Journal Physic Education. Vol.3, No. 2, pp.221-228

- Abdullah, M. dan Khairuddin. 2009. Metode Sederhana untuk Mengukur Percepatan Gravitasi Bumi Menggunakan Pegas yang Dibuak Sendiri. *Jurnal Pengajaran Fisika Sekolah Menengah*, Vol.1, No. 1, pp. 6-8.
- Khairurrijal, Eko Widiatmoko, Wahyu Srigutomo, and Neny Kurniasih. 2012. Measurement of gravitational acceleration using a computer microphone port. *Physics Education*, Vol.47, pp. 709-713.
- Hans, H. S. and S. P. Puri. 2003. *Mechanics*. 2th ed. McGraw-Hill Company Limited. New Delhi, India.
- Pain, H. J. 2005. *The physics of vibrations and waves*. 6th ed. John Wiley & Sons Ltd. Chichester. West Sussex, UK. Chapter 1-2. pp.1-52
- Aguiar, C. E., and M. M. Pereira. 2011. Using the sound card as a timer. *Physics Teacher*, Vol.49, pp. 33-35.
- Ng, T. W., and K. T. Ang. 2005. The optical mouse for harmonic oscillator experimentation. *American Association of Physics Teachers*, Vol.73, pp. 793-795
- Sarojo, Ganijanti Aby. 2002. *Mekanika*. Jakarta: Salemba Teknik.
- Fowles, Grant R. 1986. *Analytical Mechanics*. United State of America: CBS College Publishing.
- Susilo, Anton, Mohtar Yuniyanto, Viska Inda Variani. 2012. Simulasi gerak harmonik sederhana dan osilasi teredam pada *Cassy-E 524000*. *Indonesian journal of applied physics*, Vol.2, No.2, pp. 124-137