

Penentuan Frekuensi Osilasi pada Dua Pendulum Terkopel Menggunakan Arduino Uno dengan Sensor Ultrasonik

Abd. Muis Habib, Yudhiakto Pramudya*

Universitas Ahmad Dahlan

Jl. Pramuka No.42 Sidikan Umbulharjo Yogyakarta

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 23 Oktober 2020
Direvisi: 28 Desember 2020
Diterima: 08 Januari 2021

Kata kunci:

frekuensi
Arduino Uno
sensor ultrasonik
osilasi terkopel
pendulum

Keywords:

frequency
Arduino Uno
ultrasonic sensor
coupled oscillation
pendulum

Penulis Korespondensi:

Email:
yudhiakto.pramudya@pfis.uad.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai frekuensi osilasi pada dua pendulum terkopel menggunakan Arduino Uno dengan sensor ultrasonik. Gerak osilasi pendulum yang berbeda yaitu pada gerak sefase dan beda fase. Sensor ultrasonik dihubungkan pada board Arduino Uno yang kemudian dihubungkan pada PC menggunakan kabel USB. Proses pengambilan data dimulai dengan menggerakkan pendulum secara sefase dan menekan tombol *connect* pada aplikasi PLX-DAQ untuk memperoleh data yang secara otomatis akan ditampilkan pada *microsoft excel*. Selanjutnya, data yang diperoleh dilakukan analisis *fitting* data, kemudian hasilnya di-plot dalam bentuk grafik. Hasil menunjukkan perbedaan nilai frekuensi osilasi pada perbandingan pengukuran menggunakan *tracker* dan sensor ultrasonik. secara eksperimen menggunakan *tracker*, nilai ω sebesar 4,62 Hz dan secara teori nilai ω sebesar 5,66 Hz dengan ralat 18,4 %. Sedangkan pada sensor ultrasonik diperoleh nilai ω secara eksperimen sebesar 4,95 Hz dan secara teori sebesar 5,66 Hz dengan ralat 12,55%. Perbandingan pengukuran tersebut dapat dilihat bahwa nilai ω secara eksperimen menggunakan sensor ultrasonik lebih besar atau mendekati pada nilai ω secara teori. Artinya pengukuran frekuensi osilasi dengan menggunakan sensor ultrasonik juga memiliki tingkat akurasi yang baik sehingga layak digunakan dalam eksperimen osilasi terkopel.

This study aims to determine the value of the oscillation frequency in two coupled pendulums using Arduino Uno with an ultrasonic sensor. The different pendulum oscillations are in phase and phase difference. The ultrasonic sensor is connected to the Arduino Uno board which is then connected to the PC using a USB cable. The data collection process begins by moving the pendulum in phases and pressing the connect button on the PLX-DAQ application to obtain data which will automatically be displayed on Microsoft Excel. Furthermore, the data obtained were analyzed using a fitting data analysis, then the results were plotted in graphical form. The results show the difference in the value of the oscillation frequency in the comparison of measurements using a tracker and ultrasonic sensor. experimentally using a tracker, the value of ω is 4.62 Hz and in theory, the value of ω is 5.66 Hz with an error of 18.4%. While the ultrasonic sensor obtained an experimental ω value of 4.95 Hz and theoretically 5.66 Hz with 12.55% error. Comparison of these measurements can be seen that the value of ω experimentally using an ultrasonic sensor is greater or closer to the value of ω in theory. This means that the measurement of oscillation frequency using an ultrasonic sensor also has a good level of accuracy so it is suitable to be used in coupled oscillation experiments.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Fenomena fisika tentang gerak osilasi yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari yaitu peristiwa gerak osilasi seperti ayunan pada permainan anak, kipas angin yang bergerak ke kiri dan kanan, hingga senar gitar yang bergetar. Terdapat juga peristiwa gerak osilasi yang tak terlihat oleh kasat mata seperti osilasi arus listrik pada perangkat radio dan televisi. Karakteristik gerak osilasi, yaitu bersifat periodik atau gerakan berulang-ulang (Tipler, 1998). Getaran adalah gerakan bolak-balik yang berulang dari bagian suatu benda atau mesin dari posisi kesetimbangan statisnya jika keadaan setimbang tersebut terganggu oleh gaya paksa (eksitasi) atau gerakan badan mesin tersebut. Gerakan bolak-balik ini biasa disebut sebagai osilasi. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar. Karakteristik getaran meliputi parameter-parameter utama, yaitu frekuensi, amplitudo dan bentuk gelombang (Nurhadiyanto, 2015). Contoh osilasi yang populer adalah gerak osilasi pendulum (bandul). Pendulum sederhana terdiri dari seutas tali dan massa (Amanto, 2008). Pendulum sederhana adalah eksperimen fisika dasar tentang pengamatan gerak osilasi harmonik. Secara umum, percobaan ini dilakukan dengan pengukuran manual dan pengamatan yang kurang efisien. Contoh selain osilasi pendulum sederhana adalah osilasi pada dua pendulum terkopel yang dihubungkan dengan pegas (Kovacic, et al. 2012).

Penelitian eksperimen terkait gerak osilasi dua pendulum telah dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis sensor dan perangkat lunak, contohnya pada penelitian *the coupled harmonic oscillator* untuk menampilkan mode osilasi berbasis *Microcomputer Based Laboratory* (MBL) dengan menggunakan *anger sonic* (Preyer, 1996). Penelitian sistem osilasi sederhana dengan menggunakan teknologi juga dilakukan dengan menggunakan sensor ultrasonik dan Arduino untuk mengukur percepatan gravitasi (Pili & Violanda, 2019). Gerak osilasi dapat dikendalikan frekuensinya dengan menggunakan serat optic dengan metode ekstrinsik (Firmansyah & Harmadi, 2015). Selain itu, terdapat pula penelitian tentang rancang bangun dan sistem akuisisi osilasi terkopel dua massa tiga pegas (Lutfhi, 2012). dengan besar nilai frekuensi osilasi sefase dan beda fase sebesar 4,56 Hz dan 7,92 Hz. Sistem osilasi terkopel juga dikaji untuk sistem tripel pendulum seperti pada penelitian *Analysis of the Dynamics Triple Pendulum* (Fuadiy & Toifur, 2013). Sistem tersebut mendapat gangguan gaya dari luar secara periodik dan periodik berderau. Inovasi terkini untuk mempelajari sistem osilasi sederhana dikembangkan untuk memfasilitasi pembelajaran pada siswa tunanetra dengan menggunakan Arduino dan sensor ultrasonik diubah secara berkala variasi frekuensi dalam sebuah *speaker*. Oleh karena itu, siswa tunanetra memahami gerakan tanpa perlu menyentuhnya (Goncalves, et al., 2017).

Sejumlah penelitian tersebut belum melibatkan teknologi sensor dan mikrokontroler untuk menganalisis sistem osilasi terkopel dengan pegas dan batang pendulum. Sehingga, peneliti melakukan pengembangan penelitian dengan menggunakan arduino uno dengan sensor ultrasonik pada dua pendulum terkopel. Sistem terkopel menggunakan pegas yang diakuisisi data posisi pendulum terhadap waktu.

II. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa metode eksperimen yang dikonfirmasi dengan teori sistem terkopel dua batang pendulum. Dua buah batang pendulum identik dengan massa m dihubungkan dengan sebuah pegas k . Panjang pegas sedemikian terentang diantara kedua massa dalam kesetimbangan dan pergeseran nol. Kedua massa bergerak dengan persamaan gerak (Pain, 2005) :

$$m\ddot{x} = -mg \frac{x}{l} - k(x - y) \quad (1)$$

$$m\ddot{y} = -mg \frac{y}{l} + k(y - x) \quad (2)$$

Untuk menentukan nilai frekuensi osilasi pada gerak sefase dengan persamaan :

$$\omega^2 = \frac{g}{l} = \omega_1^2 \quad (3)$$

Sedangkan untuk gerak beda fase, menggunakan persamaan :

$$\omega^2 = \frac{g}{l} + \frac{2k}{m} = \omega_2^2 \quad (4)$$

Dalam banyak sistem sesungguhnya, gerak osilasi akan dihambat oleh gaya nonkonservatif seperti contohnya gesekan. Gaya hambat ini seringkali diamati, misalnya saat benda bergerak di udara. Gaya hambat dapat dinyatakan sebagai $R = -bv$, dimana b adalah konstanta yang disebut koefisien redaman. Kita dapat menghubungkan osilasi teredam ini dengan Hukum II Newton menjadi: (Susilo, et al., 2010)

$$\Sigma F_x = -kx - bv_x = ma_x \quad (5)$$

$$-kx - b \frac{dx}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (6)$$

Saat gaya hambat bernilai kecil dibandingkan dengan gaya pemulih maksimumnya, solusi untuk persamaan (6) adalah :

$$x = Ae^{-\frac{b}{2m}t} \cos(\omega t + \varphi) \quad (7)$$

Frekuensi sudut osilasinya dapat dituliskan sebagai

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{b}{m}\right)^2} \quad (8)$$

dengan k dinyatakan sebagai konstanta pegas dan m sebagai massa.

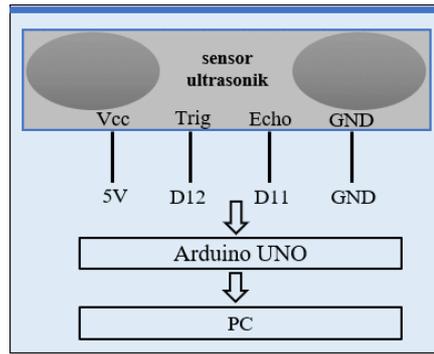
Metode eksperimen untuk mengkaji sistem terkopel dua batang pendulum ini melingkupi penyusunan rangkaian pendeteksi gerakan, pengujian keakuratan data dengan perangkat lunak yang telah banyak digunakan oleh publik, dan pengambilan data getaran terkopel. Pada bagian metode ini disajikan alat dan bahan serta prosedur eksperimen. Eksperimen ini menggunakan dua buah pendulum dengan massa 88 gr yang akan bergerak secara periodik. Pendulum tersebut akan dihubungkan dengan sebuah pegas yang konstanta pegasnya 2,82 N/m. Gerak osilasi pendulum akan terdeteksi terbaca pada sensor ultrasonik yang telah dihubungkan dengan *microcontroller* Arduino Uno.

2.1 Prosedur Eksperimen

Proses eksperimen pada penelitian ini dimulai dari :

1. Tahap Persiapan

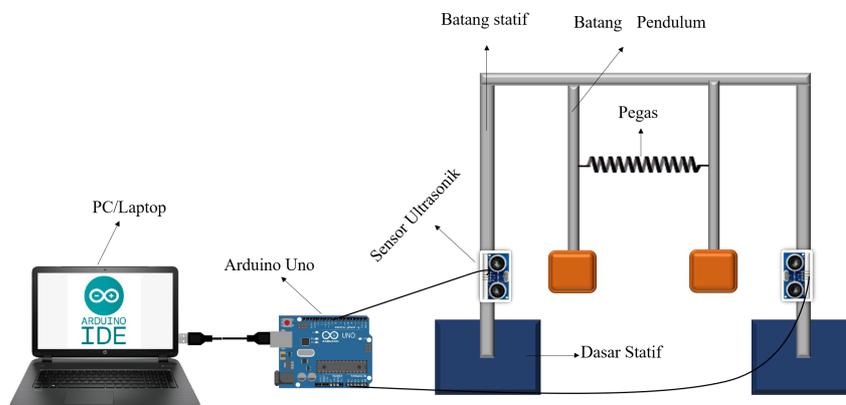
Desain rangkaian elektronika yang terdiri atas beberapa blok rangkaian pada sensor ultrasonik. Blok diagram sistem ini dapat dilihat pada Gambar 1. Tegangan yang digunakan untuk membangkitkan sensor sebesar 5 volt pada Arduino dihubungkan dengan pin Vcc, kemudian pin trigger pada sensor dihubungkan ke pin D12 pada Arduino, pin echo pada sensor dihubungkan ke pin D11, dan pin GND pada sensor dihubungkan ke pin GND Arduino. *Port* yang digunakan di Arduino yaitu *port* digital. Arduino dihubungkan dengan PC menggunakan USB tipe printer dan menggunakan *software* IDE sebagai sarana pemrogramannya.



Gambar 1. Blok diagram set eksperimen

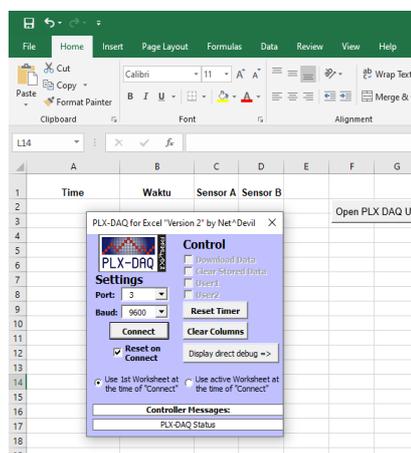
2. Pengambilan Data

Skema alat yang digunakan saat pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema perangkat eksperimen

Pengambilan data dimulai dengan menarik atau menggerakkan salah satu pendulum kemudian dilepaskan, maka pendulum akan bergerak osilasi secara sefase atau searah. Untuk mendapatkan gerak osilasi sefase, kedua pendulum digerakkan pada arah yang sama. Misalnya, pendulum sebelah kiri bergerak ke kiri, maka pendulum sebelah kanan juga bergerak ke kiri. Tombol *connect* diaktifkan pada aplikasi PLX-DAQ untuk memperoleh data yang secara otomatis akan ditampilkan pada *Microsoft Excel*. Aplikasi ini digunakan untuk menghubungkan data yang diperoleh dari sensor ultrasonik dengan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Langkah yang sama dengan menggerakkan pendulum namun secara berlawanan arah atau menarik kedua pendulum secara bersamaan kemudian dilepaskan sehingga pendulum akan bergerak osilasi secara beda fase. Pada gerak beda fase ini, pendulum sebelah kiri akan bergerak ke kiri sedangkan pendulum sebelah kanan akan bergerak ke kanan. Tampilan PLX-DAQ dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan PLX-DAQ

3. Analisis *Microsoft Excel*

Data yang diperoleh dari sensor ultrasonik yaitu nilai t waktu dan x jarak sudah otomatis ditampilkan di *microsoft excel*. Data diolah untuk dibuat menjadi grafik sehingga akan terlihat perbedaan gerak sefase dan beda fase.

4. Metode Analisis

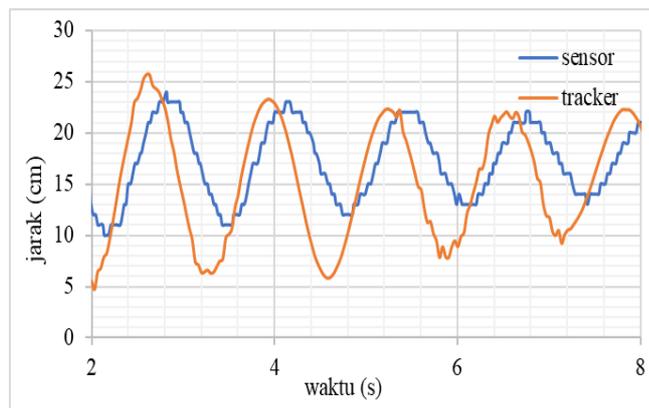
Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak *microsoft excel*. *Fitting* data dilakukan sesuai dengan persamaan 7 melalui fitur *data solver*.

Verifikasi hasil analisis data yang diperoleh secara eksperimen dan teori dilakukan dengan menghitung nilai ralat relatif yang sesuai dengan persamaan :

$$\left| \frac{\omega_{eksperimen} - \omega_{teori}}{\omega_{teori}} \right| \times 100\% \tag{9}$$

III. HASIL DAN DISKUSI

Telah dilakukan eksperimen penentuan frekuensi osilasi dua pendulum terkopel menggunakan arduino uno dengan sensor ultrasonik. Eksperimen yang pertama kali dilakukan yaitu untuk menguji keakuratan sensor ultrasonik dan *tracker*. Pengukuran dengan menggunakan 1 pendulum yang berosilasi. Perangkat lunak *tracker* digunakan untuk menjejak posisi benda yang ditargetkan dalam rekaman video. Sehingga, dapat diperoleh grafik posisi (jarak) terhadap waktu. Sensor ultrasonik memberikan data jarak pendulum dari sensor terhadap waktu. Data yang diperoleh dari hasil eksperimen ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik osilasi pendulum pada sensor dan *tracker*

Terlihat pada Gambar 4, kedua grafik menunjukkan osilasi terhadap posisi kesetimbangannya. Terdapat selisih amplitudo jarak yang dihasilkan oleh sensor ultrasonik dan *tracker*. Hal ini disebabkan kepekaan sensor ultrasonik dalam merespon perubahan jarak. Eksperimen ini difokuskan pada pengukuran frekuensi osilasi.

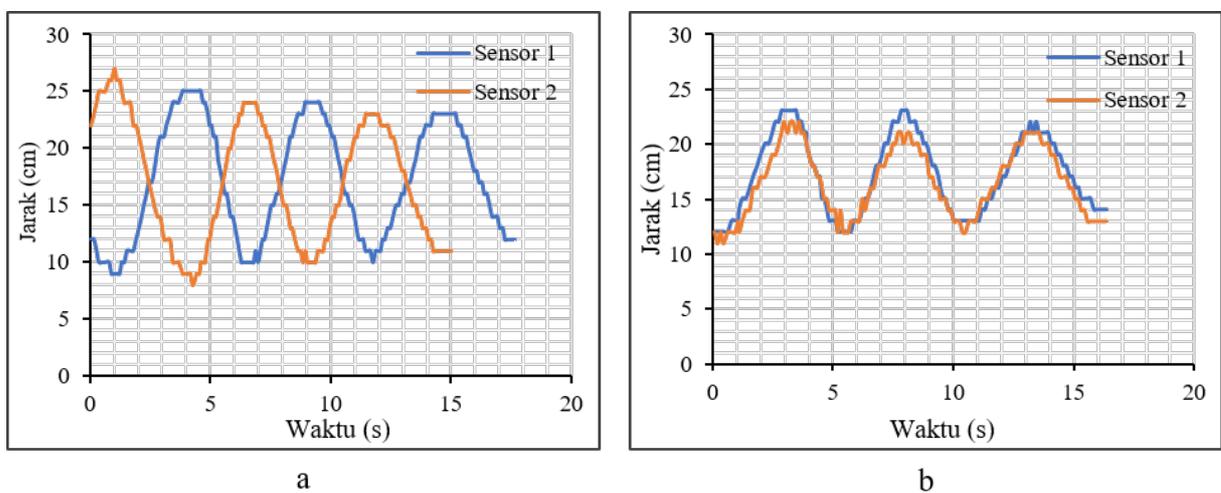
Tabel 1. Nilai ω secara eksperimen & teori pada osilasi pendulum

	ω eksperimen (Hz)	ω teori (Hz)	% ralat
<i>Tracker</i>	4,620	5,662	18,40
Sensor	4,953	5,664	12,55

Pada tabel 1 dapat dilihat perbandingan pengukuran frekuensi osilasi dengan menggunakan *tracker* dan sensor ultrasonik. Secara eksperimen menggunakan *tracker* diperoleh nilai ω sebesar 4,62 Hz dan secara teori nilai ω sebesar 5,66 Hz dengan ralat 18,4%. Sedangkan pada sensor ultrasonik diperoleh nilai ω secara eksperimen sebesar 4,95 Hz dan secara teori nilai ω sebesar 5,66 Hz dengan ralat 12,55%. Dari perbandingan pengukuran tersebut dapat dilihat bahwa nilai ω secara eksperimen

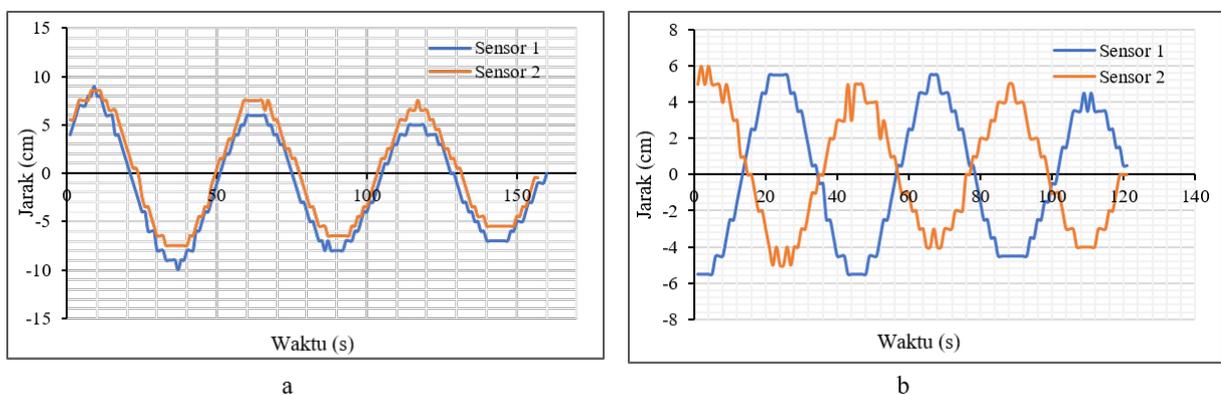
menggunakan sensor ultrasonik lebih besar atau mendekati pada nilai ω secara teori. Artinya pengukuran frekuensi osilasi dengan menggunakan sensor ultrasonik juga memiliki tingkat akurasi yang baik sehingga layak digunakan dalam eksperimen osilasi terkopel. Selanjutnya dilakukan pengambilan data pada osilasi terkopel.

Data untuk osilasi terkopel dua pendulum yang terhubung dengan pegas mempunyai mode osilasi secara sefase dan beda fase. Data jarak pendulum dari sensor terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 5a dan 5b untuk osilasi terkopel sefase dan beda fase. Sensor 1 terletak di sebelah kiri pendulum 1 dan sensor 2 terletak di sebelah kanan pendulum 2. Pada gerak sefase, kedua pendulum akan bergerak dengan arah yang sama. Ketika pendulum 1 bergerak ke kiri atau mendekati sensor 1, saat itu juga pendulum 2 bergerak ke kiri menjauhi sensor 2. Sehingga, terlihat puncak osilasi jarak yang terjadi berbeda sebesar 90° . Begitu pula dengan Gambar 5b untuk sistem osilasi terkopel beda fase. Pada mode ini, balok 1 mendekati sensor 1 dan balok 2 mendekati sensor 2 pada waktu yang bersamaan. Sehingga, puncak osilasi jarak terjadi pada waktu yang sama.



Gambar 5. a. Grafik gerak sefase. b. Grafik gerak beda fase.

Untuk dapat melihat dengan lebih jelas posisi pendulum 1 dan pendulum 2 pada mode osilasi terkopel sefase dan beda fase, maka data sensor 2 dikalikan dengan negatif 1. Sehingga, Grafik 6a dan 6b memperlihatkan dengan lebih jelas puncak posisi pendulum 1 dan pendulum 2 terhadap waktu. Pada Gambar 6a, terlihat puncak posisi kedua pendulum yang ditangkap oleh sensor 1 dan sensor 2 terjadi pada waktu yang sama atau tidak ada beda fase. Sedangkan pada Gambar 6b, diperlihatkan puncak posisi kedua pendulum terjadi pada waktu yang berbeda. Puncaknya berbeda fase 90° .



Gambar 6. a. Grafik gerak sefase. b. Grafik gerak beda fase.

Eksperimen dengan sensor ultrasonik ini telah berhasil dilakukan untuk mendapatkan nilai frekuensi sudut osilasi terkopel yang nilai ralatnya lebih baik daripada metode analisis video menggunakan *tracker*. Dengan adanya sensor yang terhubung dengan mikrokontroler Arduino, kesalahan perekaman jejak gerak pendulum akibat kekurangtelitian menentukan posisi benda di tiap frame video dapat ditekan secara minimal. Selain itu, eksperimen ini juga mampu menghasilkan data puncak osilasi terkopel untuk mode sefase dan beda fase.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian pembahasan yang telah dijabarkan, diperoleh nilai frekuensi osilasi yang berbeda pada osilasi pendulum dengan menggunakan *tracker* dan sensor ultrasonik. Secara eksperimen menggunakan *tracker* diperoleh nilai ω sebesar 4,62 Hz dan nilai teori sebesar 5,66 Hz dengan ralat 18,4%. Sedangkan pada sensor ultrasonik diperoleh nilai ω secara eksperimen sebesar 4,95 Hz dan secara teori nilai ω sebesar 5,66 Hz dengan ralat 12,55%. Dari perbandingan pengukuran tersebut dapat dilihat bahwa nilai ω secara eksperimen menggunakan sensor ultrasonik lebih besar atau mendekati pada nilai ω secara teori. Artinya pengukuran frekuensi osilasi dengan menggunakan sensor ultrasonik juga memiliki tingkat akurasi yang baik sehingga layak digunakan dalam eksperimen osilasi terkopel.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanto & Zakaria, L. (2008). Keterkendalian sistem bandul ganda. *Jurnal Sains MIPA*, 14, 2, 90-100.
- Firmansyah & Harmadi. (2015). Rancang Bangun Sistem Pengontrol Frekuensi Getaran menggunakan Serat Optik. *Jurnal Fisika Unand*, 4, 2, 200-207
- Fuadiy, M. R., & Toifur, M. (2013). Analysis of the Dynamics triple pendulum. *Proceeding enhancing International Collaborative Research on Education, Sciences, and Humanities* (pp. 10-21). Naga City: Philippines June.
- Goncalves, A. M., Cena, C. R., Alves, D. B., Errobidart, N. G., Jardim, M. A., & Queiros, W. P. (2017). Simple pendulum for blind students. *Physics Education*, 52.
- Kovacic, I., Zukovic, M., & Cartmell, M. P. (2012). On the oscillation death phenomenon in a double pendulum system with autoparametric interaction. *Journal of Physics : Conference Series*, 382.
- Lutfhi, M. (2012). *Rancang bangun dan sistem akuisisi dari osilasi terkopel dua massa tiga pegas*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Nurhadiyanto, D. (2015). *Getaran Struktur*. Yogyakarta: K-Media.
- Pain, H. J. (2005). *The physics of vibration and waves*. London: John Wiley and Sons.
- Pili, U., & Violanda, R. (2019). Measurement of the gravitational acceleration using a simple pendulum apparatus, ultrasonic sensor, and Arduino. *Physics Education*, 54, 043009.
- Susilo, A., Yunianto, M., & Variansi, V. I. (2010). Simulasi Gerak Harmoni Sederhana dan Osilasi Teredam pada Cassy-E 524000. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 124-137.
- Tipler, P. A. (1998). *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Preyer, N. W. (1996). The Coupled harmonic oscillator: Not just for seniors anymore *The Physics Teacher*, 34, 52-59.