

Visualisasi Dan Penyelidikan Gelombang Stasioner dengan *String Machine* : Kombinasi Arduino Uno dan Transistor sebagai Media Pembelajaran Interaktif

Hanifah Zakiya^{1*}, Kartini Herlina², Ryna Aulia Falamy³, Lita Maylanindia Nela⁴, Titik Dwi Asih⁵, Reva Mela Yunita⁶

^{1,2,3,4,5,6} Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lampung

E-mail: hanifah.zakiya@fkip.unila.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.52188/jpfs.v8i1.1234>

Accepted: 6 Maret 2025

Approved: 29 Maret 2025

Published: 31 Maret 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan Mesin Dawai (*String Machine*) sebagai media pembelajaran gelombang stasioner. Konsep gelombang stasioner bersifat abstrak, sehingga diperlukan media yang dapat memvisualisasikannya secara langsung. Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian pengembangan. Pengujian dilakukan hingga tahap kelayakan secara teoritis. Mesin Dawai memanfaatkan dua buah dinamo yang ditenagai oleh adaptor 12V untuk memutar dawai yang dikontrol oleh potensiometer yang terhubung dengan Arduino Uno. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa alat yang dikembangkan dapat memvisualisasikan fenomena gelombang stasioner secara real time melalui variasi tegangan dawai, frekuensi osilasi, dan panjang dawai, sehingga memungkinkan siswa untuk mengamati hubungan antara parameter fisis dan pola gelombang yang dihasilkan. Percobaan lebih lanjut menentukan kecepatan gelombang pada dawai sebesar 15 m/s, yang dihitung dengan menggunakan hubungan antara daya listrik dan daya mekanik. Pengujian dan uji kelayakan perangkat ini masih dalam proses. Pengembangan alat ini belum sampai pada tahap uji coba di lapangan. Alat ini dapat dijadikan sebagai alternatif alat pembelajaran untuk membantu siswa dan mahasiswa dalam memahami teori dasar tentang gelombang stasioner.

Kata kunci: Gelombang stasioner, String Machine, Media Pembelajaran, Visualisasi

ABSTRACT

The research aims to develop a String Machine as a learning media for stationary waves. The concept of stationary waves is abstract, so a medium is needed to visualize it directly. The research method used is a development research method. The testing was carried out until the theoretical feasibility stage. The String Machine utilizes two dynamos powered by a 12V adapter to rotate the string, controlled by a potentiometer connected to an Arduino Uno. The results of this study indicate that the developed device can visualize the phenomenon of stationary waves in real time through variations in string voltage, oscillation frequency, and string length, enabling students to observe the relationship between physical parameters and the resulting wave patterns. Further experiments determined the wave speed on the string to be 15 m/s, calculated using the relationship between electrical power and mechanical power. Testing and feasibility testing of this device are still in progress. The development of the device has not yet reached the field testing stage. This device can serve as an alternative learning tool to help students better understand the basic theory of stationary waves.

Keyword: Stationary Waves, String Machine, Learning Media, Visualization

@2025 Pendidikan Fisika FKIP Universitas Nahdlatul Ulama Cirebon

PENDAHULUAN

Gelombang stasioner (gelombang berdiri) dapat dihasilkan jika terjadi interferensi satu sama lain antara dua gelombang sinusoidal dengan amplitudo dan panjang gelombang yang sama bergerak berlawanan arah di sepanjang tali yang diregangkan, (Halliday et al., 2013). Ini menjadi menjadi fenomena fundamental yang dikaji dalam fisika yang banyak diimplementasikan dalam berbagai bidang seperti bidang akustik dan elektronika. Pada bidang akustik, rebana dipukul menghasilkan resonansi getaran karena adanya frekuensi yang sama atau kelipatan dari frekuensi tersebut (Bektiarso et al., 2023). Pada bidang elektronika, fenomena gelombang stasioner mengkaji pada jalur transmisi frekuensi radio (RF), yang sangat berpengaruh pada efisiensi pengiriman sinyal. (Saakian, 2020). Sehingga siswa perlu pemahaman yang mendalam agar dapat memanfaatkan gelombang stasioner pada tingkatan yang lebih kompleks lagi.

Materi tentang gelombang bergerak dan gelombang stasioner bersifat abstrak sehingga menyulitkan siswa untuk memahaminya secara menyeluruh (Susanto, 2023a). Misalnya, ketika membahas tentang gelombang bunyi, siswa sering mengira bahwa partikel udara atau debu di sekitarnya akan ikut bergerak menjauh dari sumber bunyi, padahal kenyataannya partikel tersebut hanya berosilasi, ini disebabkan siswa akan sulit membedakan antara perpindahan energi gelombang dan gerak partikel medium (Caleon & Subramaniam, 2010). Karena materi ini bersifat abstrak, siswa cenderung mengandalkan analogi yang kadang tidak tepat, ini tentu akan menghambat penguasaan konsep gelombang oleh siswa (Kameo et al., 2020). Sehingga diperlukan media pembelajaran untuk mengkomunikasikan informasi secara efektif serta memberikan fasilitas pemahaman yang baik. Media pembelajaran dapat berupa objek fisik, teknologi ataupun kombinasi dari dua hal tersebut (Koryataini et al., 2024).

Beberapa penelitian pengembangan media pembelajaran materi gelombang stasioner sudah dikembangkan baik secara virtual maupun secara langsung, media pembelajaran virtual seperti penggunaan aplikasi phet Colorado yang diintegrasikan (Susanto, 2023), (Jamila et al., 2023), penggunaan aplikasi *Lectora Inspire 18* (Ulumiyah, 2022). Secara eksperimen langsung, penggunaan menggunakan *Wave on String* dan LKPD (Cahya & Sucahyo, 2021), menggunakan tegangan tali statis dengan pengukuran manual menggunakan mistar dalam menentukan panjang gelombang kemudian memvariasikan tegangan tali melalui beban mekanis (Tsutsumanova & Russev, 2013). Penelitian tentang gelombang stasioner juga sudah dilakukan dengan berbasis aplikasi *physics toolbox sensor suite* untuk menentukan cepat rambat gelombang (Febrianti & Prabowo, 2021). Pengembangan media pembelajaran gelombang stasioner, selanjutnya melalui penyelidikan langsung dengan menggunakan neraca dan vibrator sederhana dalam menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang (Octaviani et al., 2021). Eksperimen penentuan frekuensi senar, dengan menentukan dan mengukur jumlah perut gelombang dalam senar kemudian memvariasikan panjang dan tegangannya menggunakan frekuensi resonansi (Cristiano et al., 2019).

Berdasarkan hasil studi literatur, media-media pembelajaran yang sudah dikembangkan belum memungkinkan siswa untuk memvariasikan besaran gelombang kemudian mengamati dinamika gelombang stasioner secara langsung. Sehingga masih ditemukan celah pemisah, antara teori abstrak dan bukti eksperimen yang diamati siswa. Sehingga pada penelitian ini, menggabungkan metode eksperimen fisik dengan analisis data digital, agar teori yang abstrak sejalan dengan bukti eksperimen. Melalui Media pembelajarannya adalah *String Machine*. *String Machine* ini mengkombinasikan dinamo, potensiometer, dan Arduino Uno sehingga memungkinkan siswa melakukan pengamatan gelombang stasioner dengan variasi parameter yang lebih presisi. Tambahan pula, komponen-komponen yang digunakan terjangkau sehingga dapat diaplikasikan secara luas di sekolah-sekolah dengan sumber daya terbatas.

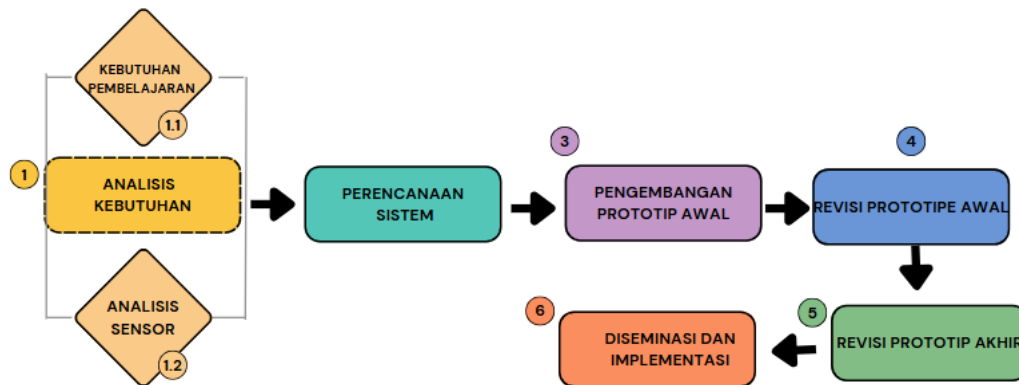
Penelitian ini bertujuan untuk mendesain *String Machine* yang dapat digunakan untuk mempelajari pengaruh variabel seperti frekuensi, tegangan, dan panjang tali terhadap pola gelombang yang dihasilkan. Dengan kemampuannya untuk memvisualisasikan konsep-konsep abstrak secara nyata, *String Machine* sangat membantu siswa lebih mudah memahami konsep gelombang stasioner secara interaktif dan nyata. Oleh karena itu, pengembangan dan penerapan alat ini menjadi langkah

penting dalam meningkatkan kualitas pembelajaran fisika, baik di tingkat sekolah menengah maupun perguruan tinggi.

METODE

Media pembelajaran gelombang stasioner (*String Machine*) ini dikembangkan dengan menggunakan metode penelitian dan Pengembangan (Borg & Gall, 1984). Penelitian ini dilakukan sebagai bagian dari perkuliahan matakuliah Gelombang bersama mahasiswa semester 3 di program studi pendidikan fisika, Universitas Lampung.

Berikut prosedur Pengembangan String Machine yang sudah dilakukan



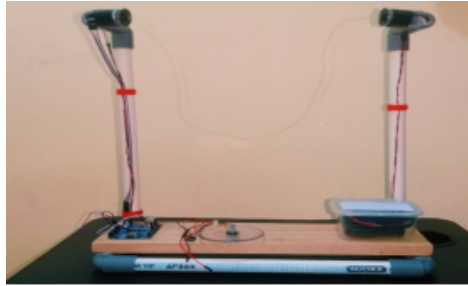
Gambar 1. Alur pengembangan

Pada tahap awal dilakukan analisis kebutuhan pembelajaran tentang konsep-konsep fisika yang sulit di pahami oleh siswa melalui wawancara guru beberapa Sekolah, khususnya pada materi gelombang. Selanjutnya dilakukan kajian pustaka terhadap penelitian-penelitian yang sudah dilakukan. Selanjutnya, dilakukan perencanaan meliputi design alat dan analisis komponen-komponen yang diperlukan. Kemudian, pada tahap ini juga menentukan keluaran dari alat yang akan dikembangkan agar sesuai dengan kebutuhan pembelajaran.

Pada tahap perencanaan sistem, mendesain sistem diantaranya membuat kerangka alat peraga, penentuan sumber energi dari alat yang digunakan dan menintegrasikannya dengan sistem pada Sensor MPU 6050 agar keluaran yang dihasilkan sesuai dengan Tujuan alat dikembangkan. Pada tahap Pengembangan prototipe mulai mencoba menggabungkan beberapa komponen memasang dinamo, busur dan menghubungkan komponen-komponen elektronik menjadi satu rangkaian utuh. Selanjutnya setelah alat sudah dapat menyala, dilakukan uji coba awal keluaran alat dan mengevaluasi beberapa bagian alat yang belum optimal. Pada tahap akhir dilakukan ujicoba melalui pengambilan data percobaan untuk beberapa variabel, kemudian dilakukan analisis data untuk mencari hubungan antar variabel. Setelah itu dilakukan analisis data secara eksperimen dan teoritis. Sehingga, dengan ada analisis ini dapat ditemukan ketepatan media pembelajaran dalam menjelaskan fenomena gelombang stasioner.

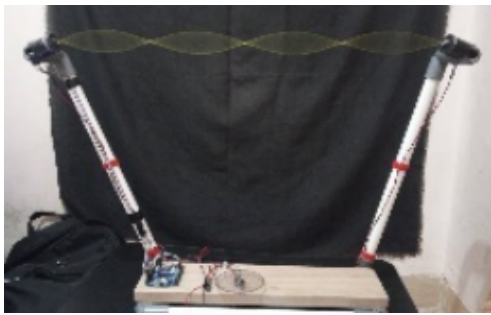
HASIL

Hasil dari pengembangan String Machine yang merupakan alat peraga untuk media pembelajaran Gelombang Stasioner yang menggabungkan Arduino dan potensiometer dapat mengukur besaran-besaran gelombang seperti frekuensi, tegangan, dan panjang tali terhadap pola gelombang. Pada gambar 3 ditampilkan prototipe serangkain string machine yang sudah dikembangkan secara terbatas.

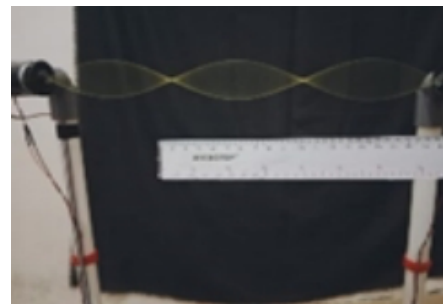


Gambar 2. Prototipe *String Machine*

Besaran-besaran yang dihasilkan secara real time yang ditampilkan pada perangkat lunak komputer, bersamaan dengan pola/ bentuk gelombang dapat divisualisasi sehingga dapat diamati secara langsung. Dua eksperimen dapat dikembangkan menggunakan String Machine. Pertama, menyelidiki hubungan antara perubahan sudut rotasi potensiometer dengan jumlah gelombang yang dihasilkan. Kedua, menyelidiki hubungan antara perubahan panjang tali dengan jumlah gelombang dan panjang gelombang pada frekuensi konstan pada putaran dinamo maksimum. Kedua eksperimen ini menghasilkan visualisasi bentuk gelombang yang dapat diamati secara langsung, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3a dan 3b di bawah ini.



(3a)



(3b)

Gambar 3a. Contoh bentuk gelombang rotasi 50° dari putaran potensiometer, menghasilkan frekuensi 30 Hz; 3b. Contoh bentuk gelombang dari panjang tali 30 cm menghasilkan panjang gelombang 18 cm;

Dalam eksperimen pertama, perubahan sudut putaran potensiometer mempengaruhi frekuensi gelombang yang dihasilkan, yang dihitung menggunakan persamaan $f = v / \lambda$, di mana $\lambda = 2L / n$. Data eksperimen ditampilkan dalam Tabel 1 di bawah ini.

Table 1. Changes in the potentiometer's angle of rotation and wave frequency

No.	Potentiometer's angle	Frequency (Hz)
1.	95°	15,0
2.	135°	25,0
3.	150°	30,0
4.	200°	37,5
5.	250°	50,0
6.	300°	53,5

Dalam eksperimen kedua, panjang tali diubah dengan frekuensi tetap pada sudut maksimum 300°.

Table 2. The ratio of the length of the string to the number and length of waves

No.	Length of the string	wave number (cm)	wave length (cm)
1.	30	1,5	18
2.	50	3,5	16
3.	79	4	15

PEMBAHASAN

Penggunaan mesin tali dalam memahami gelombang stasioner dimulai dengan menghubungkan adaptor 12V 1A ke terminal listrik. Tegangan kemudian dialirkan melalui transistor TIP yang terhubung ke potensio dengan resistansi 20.000 kΩ.

Pengukuran kecepatan gelombang

Pengukuran awal dilakukan sesuai dengan Hukum Ohm:

$$I = V / R$$

Pada tegangan (V) 9V dan resistansi (R) 20.000 kΩ, arus yang dihasilkan adalah 0,75A. Selanjutnya, tegangan listrik ini diubah menjadi tenaga mekanik melalui hubungan

$$P = V . I = F . v$$

untuk memperoleh gaya

$$F = \frac{V . I}{v}.$$

Selanjutnya, gaya ini dihubungkan dengan persamaan kecepatan gelombang (Umam dkk., 2020),

$$v = \sqrt{(F / \mu)}$$

di mana μ adalah densitas/ kerapatan linier dari tali

$$\mu = m / L \mu = m / L.$$

Persamaan kecepatan gelombang untuk tali diperoleh dengan menyamakan hubungan ini.

$$v = \sqrt[3]{V . I / \mu v} = \sqrt[3]{V . I / \mu}.$$

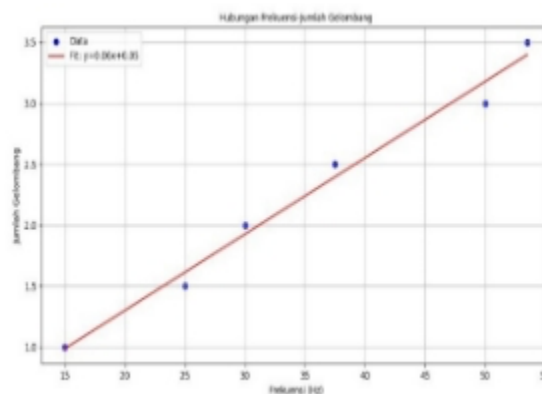
Setelah beberapakali percobaan dengan mengganti nilai parameter panjang tali dan massa, ditemukan kecepatan gelombang konstan untuk semua eksperimen yaitu 15 m/s.

Menyelidiki Perputaran Sudut Potensiometer (Frekuensi) terhadap Jumlah Gelombang

Grafik hubungan antara sudut potensio (frekuensi) dan jumlah gelombang menunjukkan pola yang semakin meningkat, di mana sumbu x mewakili sudut potensio (frekuensi) dan sumbu y mewakili jumlah gelombang. Pola ini menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya frekuensi yang dihasilkan oleh peningkatan sudut potensio, jumlah gelombang yang terbentuk juga semakin meningkat. Hubungan ini sesuai dengan rumus:

$$v = \lambda . f$$

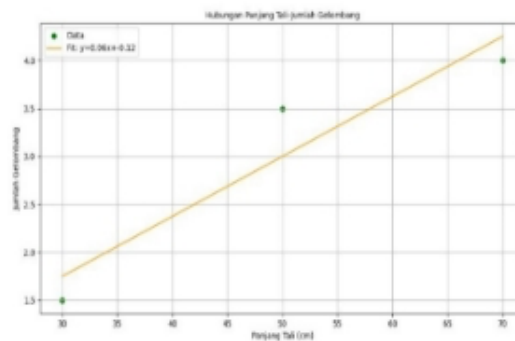
Di mana peningkatan frekuensi menyebabkan gelombang menjadi lebih padat, sehingga jumlah gelombang meningkat (Faizah dkk., 2024).



Gambar 4. Perubahan Sudut Potensiometer (Frekuensi) terhadap Jumlah Gelombang

The ratio of the length of the string to the number with length of waves

Grafik hubungan antara panjang tali dan jumlah gelombang menunjukkan pola yang meningkat, di mana semakin panjang tali, semakin banyak gelombang yang terbentuk.

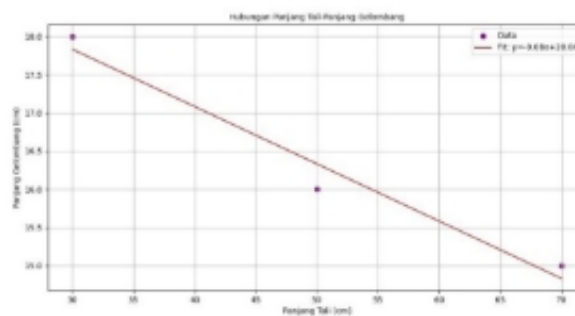


Gambar 5. Hubungan antara Panjang Tali dan Jumlah Gelombang

Namun, grafik hubungan antara panjang senar dan panjang gelombang menunjukkan pola yang menurun, karena :

$$\lambda = 2L / n$$

Sehingga, panjang gelombang berbanding lurus dengan panjang senar. Namun, peningkatan jumlah gelombang (n) pada senar yang lebih panjang mempengaruhi nilai λ , sehingga menjadi berbanding terbalik.



Gambar 6. Hubungan Antara Panjang Tali dan Panjang Gelombang

Sumber Kesalahan

Ketidakakuratan yang terjadi selama eksperimen kemungkinan disebabkan oleh kesalahan manusia, seperti ketidakpresisian dalam mengukur panjang atau massa tali, serta pengaturan sudut potensio yang tidak tepat. Hal ini mempengaruhi nilai frekuensi dan panjang gelombang yang dihitung. Selain itu, ketidakkonsistenan kecil pada tegangan dan arus adaptor juga dapat memengaruhi kecepatan gelombang, meskipun hasilnya masih menunjukkan nilai konstan dalam satuan m/s. Kombinasi antara teori dan eksperimen menunjukkan hubungan yang konsisten dengan formulasi awal, meskipun terdapat penyimpangan kecil akibat faktor-faktor tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengembangan mesin string, dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran yang dikembangkan dapat menjelaskan hubungan antara sudut putaran potensio, frekuensi yang dihasilkan, dan jumlah gelombang yang terbentuk pada tali. Ditemukan bahwa semakin panjang tali, semakin banyak gelombang yang terbentuk, tetapi panjang gelombang cenderung semakin kecil. Media pembelajaran ini menunjukkan adanya kecepatan gelombang konstan pada tali meskipun terjadi perubahan panjang tali dan frekuensi. Kecepatan gelombang pada tali diperoleh sebesar 15

m/s, dihitung menggunakan hubungan antara daya listrik dan daya mekanik melalui persamaan $v = \sqrt[3]{(V \cdot I / \mu)}$.

Sehingga pengembangan media pembelajaran *String Machine* ini dapat digunakan sebagai alat pembelajaran interaktif yang memvisualisasikan bentuk gelombang secara langsung. Perangkat ini memberikan pemahaman yang lebih konkret tentang gelombang berdiri dan hubungan antara panjang tali, frekuensi, dan panjang gelombang, sehingga memudahkan siswa dalam memahami konsep fisika abstrak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada mahasiswa pendidikan fisika semester ketiga di Universitas Lampung atas dukungan penuh mereka dalam pengembangan media pembelajaran ini.

REFERENSI

- Bektiarso, S., Mahardika, I. K., Fikri, M., Putri, I. M. A., Fatimah, U., & Najah, S. (2023). Analisis Konsep Fisika Pada Alat Musik Rebana. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(2), 569–574.
- Borg, W. R., & Gall, M. D. (1984). Educational research: An introduction. *British Journal of Educational Studies*, 32(3).
- Cahya, R. E., & Sucahyo, I. (2021). Pengembangan LKPD Simulasi Wave on String untuk Pembelajaran Gelombang Stasioner di SMA. *PENDIPA Journal of Science Education*, 5(3), 366–371. <https://doi.org/10.33369/pendipa.5.3.366-371>
- Caleon, I., & Subramaniam, R. (2010). Development and application of a three-tier diagnostic test to assess secondary students' understanding of waves. *International Journal of Science Education*, 32(7), 939–961.
- Cristiano, K. L., Triana, D. A., Ortiz, R., & Estupiñán, A. F. (2019). Experimental methods for the study of standing waves in strings. *ArXiv Preprint ArXiv:1909.12428*.
- Faizah, D. N., Chasanah, U., & Marufah, A. L. (2024). THE RELATIONSHIP BETWEEN WAVE PROPAGATION SPEED AND TENSION OF BOUND END STATIONARY WAVES. *IJENSET: Indonesian Journal of Engineering, Science and Technology*, 1(1).
- Febrianti, A. V., & Prabowo, P. (2021). Pengembangan Media Hukum Melde Berbasis Aplikasi Physics Toolbox Sensor Suite Pada Materi Gelombang Stasioner Kelas XI SMA. *IPF: Inovasi Pendidikan Fisika*, 10(1), 72–83.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of physics*. John Wiley & Sons.
- Jamila, S., Verawati, N. N. S. P., & Makhrus, M. (2023). Pengaruh Model Problem Based Learning Berbantuan Media PhET terhadap Hasil Belajar Gelombang Berjalan dan Gelombang Stasioner Siswa Kelas XI. *Lensa: Jurnal Kependidikan Fisika*, 11(1), 8–14.
- Kameo, W., Handayanto, S. K., & Taufiq, A. (2020). Eksplorasi penguasaan konsep gelombang mekanik mahasiswa pendidikan fisika tahun pertama semester genap Universitas Nusa Cendana Kupang. *Jurnal Riset Pendidikan Fisika*, 5(1), 46–52.
- Koryataini, L., Sumo, M., Minnah, L., Solehah, S., & Khoiroh, A. R. A. (2024). Analisis Penggunaan Media Pembelajaran PhET pada Materi Gelombang Berjalan dan Stasioner: A Review Literatur. *Mutiara: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 2(3), 120–138.
- Octaviani, L. A., Prastowo, S. H. B., & Anggraeni, F. K. A. (2021). Desain Rancang Bangun Trainer Kit untuk Menentukan Pengaruh Jenis Bahan Tali Terhadap Cepat Rambat Gelombang. *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika Dan Riset Ilmiah)*, 5(1), 33–42.
- Saakian, A. (2020). *Radio wave propagation fundamentals*. Artech House.

- Susanto, E. P. (2023a). PENINGKATAN PEMAHAMAN GELOMBANG BERJALAN DAN STASIONER MELALUI PRAKTIKUM DIGITAL DENGAN MODEL CTL DI SMAN 1 BUMIAYU. *Dialektika Jurnal Pendidikan*, 7(2), 233–242.
- Susanto, E. P. (2023b). PENINGKATAN PEMAHAMAN GELOMBANG BERJALAN DAN STASIONER MELALUI PRAKTIKUM DIGITAL DENGAN MODEL CTL DI SMAN 1 BUMIAYU. *Dialektika Jurnal Pendidikan*, 7(2), 233–242.
- Tsutsumanova, G., & Russev, S. (2013). A Vibrating String Experiment. *European Journal of Physics Education*, 4(3), 1–5.
- Ulumiyah, W. (2022). *Efektivitas Multimedia Pembelajaran Interaktif Berbantuan Lectora Inspire 18 Pokok Bahasan Gelombang Berjalan dan Gelombang Stasioner*. <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/112600>
- Umam, A. K., Utami, R. W., Putri, A. H., AS, A. S., & Antarnusa, G. (2020). Pengaruh Rapat Massa Tali terhadap Cepat Rambat Gelombang Pada Percobaan Hukum Melde. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Fisika Untirta*, 3(1).