

DESAIN REAL LABORATORY MENGGUNAKAN SENSOR HC-SR04 PADA MATERI KINEMATIKA DAN DINAMIKA BERBASIS ARDUINO UNO

Muhammad Akbar^{1*}, Sitti Hajar²

^{1,2}Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Cenderawasih, Indonesia
e-mail: akbartahanurb@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi kinerja alat praktikum fisika berbasis sensor ultrasonik HC-SR04 dan Arduino Uno sebagai alternatif sensor komersial pada materi kinematika dan dinamika. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan model 4D yang meliputi tahap define, design, develop, dan disseminate. Pengujian dilakukan pada eksperimen bandul sederhana dan hukum Newton II dengan membandingkan hasil pengukuran sensor HC-SR04 terhadap sensor komersial PASCO. Data dianalisis menggunakan perbandingan nilai hasil pengukuran dan kesalahan relatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor HC-SR04 mampu menghasilkan pengukuran dengan tingkat akurasi yang mendekati sensor PASCO, dengan nilai percepatan gravitasi sebesar $9,78 \text{ m/s}^2$ dibandingkan $9,72 \text{ m/s}^2$. Namun, pada objek dengan kecepatan tinggi, sensor HC-SR04 menunjukkan keterbatasan akibat delay waktu pengukuran. Dengan demikian, sensor HC-SR04 berpotensi sebagai alternatif low-cost untuk praktikum fisika dasar dengan tingkat akurasi yang memadai.

Kata kunci: Arduino Uno, HC-SR04, Kinematika, Dinamika, Sensor Ultrasonik.

DESIGN OF A REAL LABORATORY USING AN HC-SR04 SENSOR FOR KINEMATICS AND DYNAMICS BASED ON ARDUINO UNO

Abstract

This study aims to develop and evaluate the performance of a physics laboratory apparatus based on the HC-SR04 ultrasonic sensor and Arduino Uno as an alternative to commercial sensors in kinematics and dynamics experiments. The research method employed is Research and Development (R&D) using the 4D model, which consists of the define, design, develop, and disseminate stages. The testing was conducted through simple pendulum and Newton's Second Law experiments by comparing the measurement results of the HC-SR04 sensor with a commercial PASCO sensor. The data were analyzed using comparative measurement values and relative error analysis. The results indicate that the HC-SR04 sensor is capable of producing measurements with accuracy close to that of the PASCO sensor, with a gravitational acceleration value of 9.78 m/s^2 compared to 9.72 m/s^2 . However, for objects moving at higher speeds, the HC-SR04 sensor shows limitations due to measurement time delay. Therefore, the HC-SR04 sensor has strong potential as a low-cost alternative for basic physics laboratory experiments with acceptable accuracy.

Keywords: Arduino Uno, HC-SR04, Kinematics, Dynamics, Ultrasonic Sensor

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah mendorong inovasi dalam pengembangan media pembelajaran fisika, khususnya pada kegiatan praktikum yang memanfaatkan sensor dan sistem berbasis mikrokontroler [1-3]. Praktikum fisika memiliki peran penting dalam membantu peserta didik memahami konsep abstrak melalui pengalaman langsung, terutama pada materi kinematika dan dinamika yang memerlukan pengukuran besaran fisis secara akurat dan real time [4,5]. Namun, implementasi praktikum di sekolah masih menghadapi berbagai kendala, terutama keterbatasan dan kerusakan alat laboratorium.

Berdasarkan hasil observasi di beberapa sekolah menengah di wilayah Jayapura dan sekitarnya, ditemukan bahwa sebagian besar kegiatan pembelajaran fisika masih bersifat teoritis dan belum didukung oleh praktikum yang memadai. Meskipun beberapa sekolah telah memiliki kit praktikum, khususnya pada bidang mekanika, banyak di antaranya tidak dapat digunakan secara optimal akibat kerusakan komponen, seperti sensor gerak dan alat pencatat waktu. Selain itu, keterbatasan biaya serta kurangnya kemampuan teknis dalam perbaikan alat menjadi faktor penghambat dalam pemanfaatan fasilitas laboratorium secara berkelanjutan.

Di sisi lain, perkembangan teknologi mikrokontroler memberikan peluang untuk mengembangkan alat praktikum alternatif yang lebih murah, fleksibel, dan mudah dioperasikan [6]. Salah satu perangkat yang banyak digunakan adalah Arduino Uno, yang dapat diintegrasikan dengan berbagai jenis sensor, termasuk sensor ultrasonik HC-SR04 [7]. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip pemantulan gelombang ultrasonik untuk mengukur jarak suatu objek, sehingga berpotensi digunakan dalam eksperimen fisika yang melibatkan pengukuran posisi dan gerak.

Beberapa penelitian sebelumnya telah memanfaatkan sensor HC-SR04 dalam pengembangan alat peraga fisika, seperti pada percobaan gerak jatuh bebas, tumbukan, dan pengukuran tinggi permukaan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sensor ultrasonik memiliki potensi sebagai alat ukur alternatif dalam pembelajaran fisika [8,9]. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pembuatan alat tanpa melakukan evaluasi kinerja secara kuantitatif terhadap

sensor tersebut, khususnya dalam membandingkan tingkat akurasi dengan sensor komersial yang telah terstandarisasi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu penelitian yang tidak hanya mengembangkan alat praktikum berbasis sensor ultrasonik, tetapi juga mengevaluasi kinerjanya secara kuantitatif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat praktikum fisika berbasis sensor HC-SR04 dan Arduino Uno serta menganalisis tingkat akurasi dan kinerjanya dibandingkan dengan sensor komersial pada eksperimen kinematika dan dinamika. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif solusi berupa alat praktikum low-cost yang tetap memiliki tingkat keandalan yang memadai untuk mendukung pembelajaran fisika di sekolah.

METODE PENELITIAN

2.1 Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian Research and Development (R&D) yang bertujuan untuk mengembangkan serta mengevaluasi kinerja alat praktikum fisika berbasis sensor ultrasonik HC-SR04 dan Arduino Uno. Model pengembangan yang digunakan adalah model 4D (Define, Design, Develop, Disseminate), dengan penekanan pada tahap pengujian kinerja alat secara kuantitatif.

Selain pengembangan produk, penelitian ini juga menggunakan pendekatan eksperimen komparatif, yaitu membandingkan hasil pengukuran alat yang dikembangkan dengan sensor komersial sebagai standar acuan.

2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Arduino Uno sebagai mikrokontroler
- Sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pengukur jarak
- Sensor gerak komersial PASCO (sebagai alat pembanding)
- Laptop/PC untuk akuisisi data
- Bandul sederhana (tali dan beban)
- Rel dinamika untuk percobaan hukum Newton II
- Mistar/penggaris sebagai alat ukur referensi tambahan

2.3 Prosedur Pengembangan (Model 4D)

1. Tahap Define (Pendefinisian)

Pada tahap ini dilakukan identifikasi kebutuhan melalui observasi dan wawancara terhadap guru fisika di beberapa sekolah di wilayah Jayapura. Hasil analisis menunjukkan bahwa keterbatasan alat praktikum, khususnya pada kit mekanika, menjadi kendala utama dalam pelaksanaan praktikum.

2. Tahap Design (Perancangan)

Pada tahap ini dilakukan:

- Perancangan sistem alat berbasis Arduino dan HC-SR04
- Penyusunan rangkaian elektronik
- Pembuatan program untuk membaca data jarak secara real-time
- Penentuan parameter pengukuran (interval waktu dan jarak)

3. Tahap Develop (Pengembangan dan Pengujian)

Pada tahap ini dilakukan:

- Perakitan alat
- Kalibrasi sensor
- Pengujian kinerja alat melalui eksperimen fisika
- Perbandingan hasil dengan sensor PASCO

4. Tahap Disseminate (Penyebaran)

Tahapan ini tidak dilakukan pada penelitian.

2.4 Desain Eksperimen

Pengujian alat dilakukan pada dua jenis eksperimen:

a. Eksperimen Bandul Sederhana

- Sensor diletakkan sejajar dengan lintasan bandul
- Jarak diukur secara kontinu terhadap waktu
- Data digunakan untuk menentukan periode dan percepatan gravitasi

b. Eksperimen Hukum Newton II

- Objek bergerak pada lintasan lurus dengan gaya konstan
- Sensor merekam perubahan posisi terhadap waktu
- Data digunakan untuk menghitung percepatan benda

2.5 Prosedur Pengambilan Data

- Pengukuran dilakukan beberapa kali
- Data yang diambil berupa:
 - a. waktu (t)
 - b. jarak/posisi (x)
- Data direkam menggunakan:
 - a. sensor HC-SR04
 - b. sensor PASCO (sebagai pembanding)

2.6 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan langkah sebagai berikut:

1. Perhitungan Besaran Fisika

- Pada bandul:

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

- Pada gerak lurus:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

2. Analisis Error

Tingkat akurasi alat dihitung menggunakan kesalahan relatif (relative error):

$$\text{Error}(\%) = \left| \frac{X_{HC-SR04} - X_{referensi}}{X_{referensi}} \right| \times 100\%$$

Keterangan:

- $X_{HC-SR04}$ = hasil pengukuran sensor
- $X_{referensi}$ = hasil pengukuran sensor PASCO

3. Analisis Statistik Sederhana

Dilakukan perhitungan:

- Rata-rata (mean)

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

4. Analisis Grafik

Data ditampilkan dalam bentuk grafik:

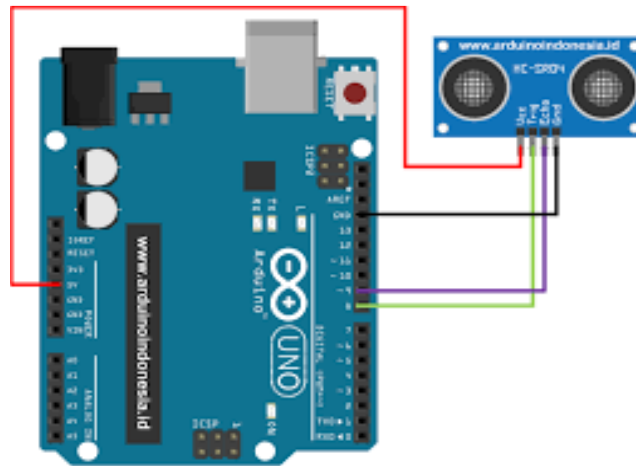
- posisi vs waktu
- perbandingan kurva HC-SR04 dan PASCO

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Desain Alat

Desain alat praktikum berbasis Arduino Uno dan sensor ultrasonik HC-SR04 ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema rangkaian sensor HC-SR04 dengan Arduino Uno

Sensor HC-SR04 terdiri dari empat pin utama, yaitu VCC, GND, Trig, dan Echo. Pin VCC dihubungkan ke sumber tegangan 5V pada Arduino, sedangkan GND sebagai ground. Pin Trig berfungsi untuk mengirimkan sinyal ultrasonik, dan pin Echo untuk menerima pantulan gelombang dari objek.

Jarak objek dihitung berdasarkan selang waktu antara sinyal yang dikirim dan diterima kembali oleh sensor, dengan persamaan:

$$L = \frac{v \times t}{2}$$

dengan v adalah kecepatan suara di udara (340 m/s) dan t adalah waktu tempuh gelombang.

Pengujian pada Eksperimen Bandul Sederhana

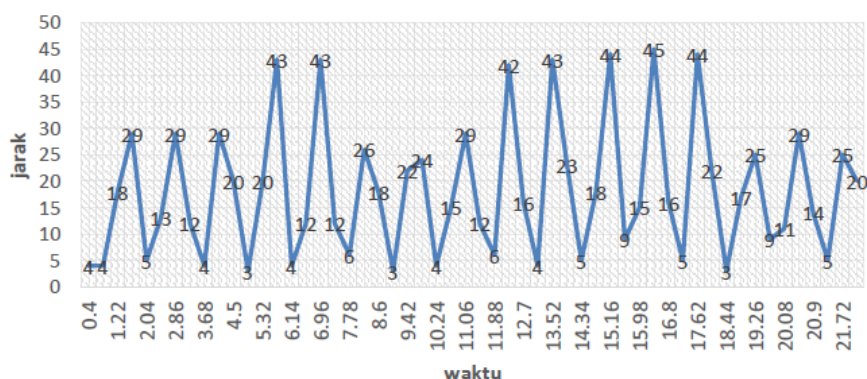
Pengujian dilakukan dengan menempatkan sensor sejajar dengan lintasan bandul untuk mendeteksi perubahan posisi

terhadap waktu. Setup eksperimen ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Setup eksperimen bandul sederhana menggunakan sensor HC-SR04

Hasil pengukuran posisi terhadap waktu menggunakan sensor HC-SR04 ditunjukkan pada Gambar 3.

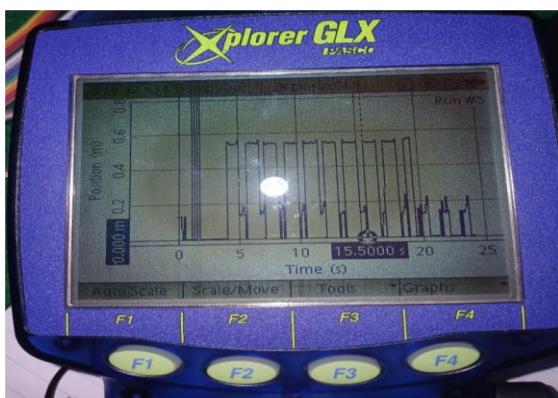


Gambar 3. Grafik hasil pengukuran bandul menggunakan HC-SR04

Sebagai pembanding, dilakukan pengukuran menggunakan sensor PASCO yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Setup eksperimen bandul menggunakan sensor PASCO



Gambar 5. Grafik hasil pengukuran menggunakan sensor PASCO

Berdasarkan hasil pengolahan data, diperoleh nilai percepatan gravitasi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan nilai percepatan gravitasi

Metode	Nilai g (m/s^2)
HC-SR04	9,78
PASCO	9,72

Perhitungan kesalahan relatif:

$$Error(\%) = \left| \frac{9,78 - 9,72}{9,72} \right| \times 100\% = 0,62\%$$

Nilai error yang kecil menunjukkan bahwa sensor HC-SR04 memiliki akurasi yang baik dalam mengukur gerak periodik.

Pengujian pada Eksperimen Hukum Newton II

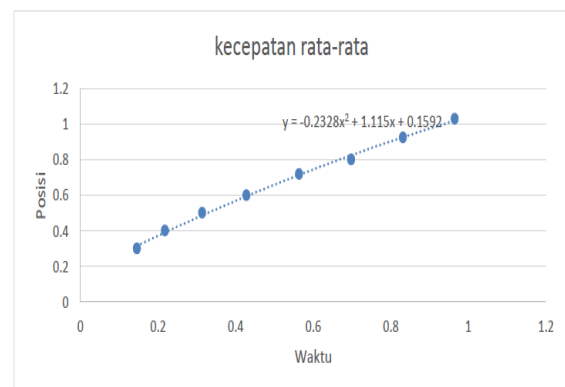
Eksperimen hukum Newton II dilakukan dengan mengamati gerak benda pada

lintasan lurus dengan gaya konstan. Setup eksperimen ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Setup eksperimen hukum Newton menggunakan HC-SR04

Hasil pengukuran posisi terhadap waktu menggunakan sensor HC-SR04 ditunjukkan pada Gambar 7.

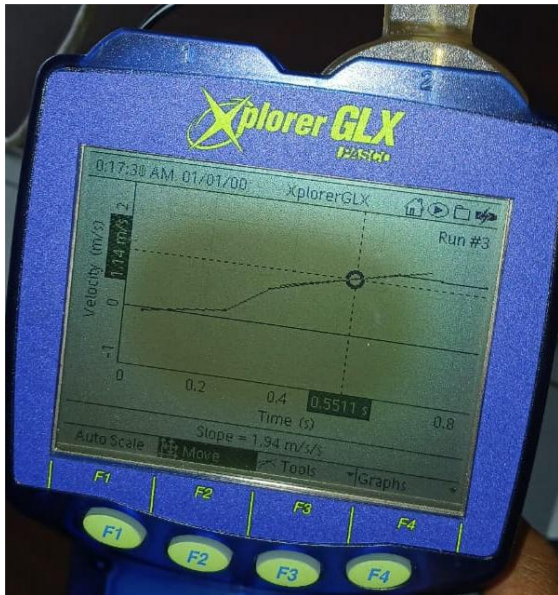


Gambar 7. Grafik hasil pengukuran menggunakan HC-SR04

Sebagai pembanding, hasil pengukuran menggunakan sensor PASCO ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Setup eksperimen menggunakan sensor PASCO



Gambar 9. Grafik hasil pengukuran menggunakan sensor PASCO

Pada eksperimen ini terlihat adanya perbedaan hasil yang lebih signifikan dibandingkan eksperimen bandul. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan sensor HC-SR04 dalam mendeteksi objek yang bergerak cepat.

Sensor HC-SR04 memiliki interval pembacaan sekitar 0,1 detik, sedangkan sensor PASCO sekitar 0,05 detik. Perbedaan resolusi waktu ini menyebabkan data dari HC-SR04 kurang detail pada gerakan dengan percepatan tinggi.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki kemampuan yang cukup baik dalam mengukur gerak benda pada eksperimen fisika dasar, khususnya pada gerak periodik seperti bandul sederhana. Hal ini ditunjukkan oleh nilai percepatan gravitasi yang diperoleh sebesar $9,78 \text{ m/s}^2$, yang mendekati hasil pengukuran menggunakan sensor PASCO sebesar $9,72 \text{ m/s}^2$, dengan kesalahan relatif sebesar 0,62%. Nilai kesalahan ini tergolong kecil, sehingga secara kuantitatif menunjukkan bahwa sensor HC-SR04 memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk digunakan dalam praktikum dasar.

Jika ditinjau dari karakteristik geraknya, bandul sederhana merupakan sistem dengan perubahan posisi yang relatif teratur dan

kecepatan yang tidak terlalu tinggi, terutama di sekitar titik simpangan maksimum. Kondisi ini memungkinkan sensor HC-SR04 untuk mendeteksi perubahan jarak secara lebih stabil. Selain itu, pola gerak yang periodik menghasilkan data yang cenderung halus, sehingga kesalahan akibat delay pembacaan sensor menjadi relatif kecil.

Namun demikian, hasil yang berbeda diperoleh pada eksperimen hukum Newton II. Pada eksperimen ini, gerak benda cenderung mengalami percepatan yang lebih besar, sehingga perubahan posisi terjadi dalam selang waktu yang lebih singkat. Sensor HC-SR04 menunjukkan keterbatasan dalam kondisi ini, yang ditunjukkan oleh perbedaan hasil yang lebih signifikan dibandingkan sensor PASCO.

Secara teknis, keterbatasan ini berkaitan dengan prinsip kerja sensor ultrasonik yang bergantung pada waktu rambat gelombang suara. Sensor HC-SR04 memerlukan waktu untuk mengirimkan pulsa ultrasonik dan menerima pantulannya kembali, sehingga terdapat jeda waktu (time delay) dalam proses akuisisi data. Dalam penelitian ini, interval pembacaan sensor sekitar 0,1 detik, yang lebih besar dibandingkan sensor PASCO dengan interval sekitar 0,05 detik. Akibatnya, pada gerakan dengan kecepatan tinggi, sensor HC-SR04 tidak mampu menangkap perubahan posisi secara detail, sehingga data yang dihasilkan menjadi kurang halus dan berpotensi menurunkan akurasi perhitungan percepatan.

Selain faktor waktu, akurasi sensor ultrasonik juga dipengaruhi oleh kondisi pantulan gelombang. Permukaan objek, sudut pantulan, serta gangguan lingkungan seperti noise dapat mempengaruhi kualitas sinyal yang diterima. Hal ini dapat menyebabkan fluktuasi data yang berdampak pada hasil pengukuran, terutama pada eksperimen yang membutuhkan presisi tinggi.

Meskipun memiliki keterbatasan, sensor HC-SR04 tetap memiliki keunggulan sebagai alternatif alat praktikum, terutama dari segi biaya dan kemudahan penggunaan [10,11]. Dibandingkan dengan sensor komersial seperti PASCO yang relatif mahal, penggunaan HC-SR04 yang dikombinasikan dengan Arduino Uno menawarkan solusi yang lebih ekonomis dan fleksibel, sehingga dapat meningkatkan aksesibilitas praktikum fisika di sekolah dengan keterbatasan fasilitas.

Dengan demikian, penggunaan sensor HC-SR04 lebih direkomendasikan untuk

eksperimen dengan karakteristik gerak yang relatif lambat dan tidak memerlukan resolusi waktu yang sangat tinggi, seperti bandul sederhana atau gerak lurus beraturan [12,13]. Sementara itu, untuk eksperimen dengan percepatan tinggi atau kebutuhan presisi tinggi, penggunaan sensor dengan resolusi waktu yang lebih baik masih diperlukan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 berbasis Arduino Uno dapat digunakan sebagai alternatif alat praktikum fisika pada materi kinematika dan dinamika. Hasil pengujian pada eksperimen bandul sederhana menghasilkan nilai percepatan gravitasi sebesar $9,78 \text{ m/s}^2$ yang mendekati hasil sensor PASCO sebesar $9,72 \text{ m/s}^2$, dengan kesalahan relatif sebesar 0,62%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor HC-SR04 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik untuk pengukuran gerak dengan kecepatan rendah.

Namun demikian, pada eksperimen dengan percepatan lebih tinggi, sensor menunjukkan keterbatasan akibat adanya delay dalam pembacaan data, sehingga mempengaruhi ketelitian hasil pengukuran. Secara umum, sensor HC-SR04 berpotensi sebagai solusi low-cost untuk mendukung praktikum fisika dasar, khususnya pada kondisi keterbatasan alat laboratorium.

Saran

Pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan resolusi waktu pembacaan sensor agar dapat digunakan pada gerak dengan kecepatan tinggi. Selain itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan jumlah data yang lebih banyak serta variasi eksperimen yang lebih beragam agar diperoleh analisis yang lebih akurat dan komprehensif. Implementasi alat dalam pembelajaran juga perlu dikaji untuk mengetahui efektivitasnya terhadap pemahaman konsep fisika peserta didik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Hudha LS, Wirawan R, Mardiana L, Al-Hadi K, Septiawan B. INOVASI PEMBELAJARAN FISIKA BERBASIS EKSPERIMEN DAN PROYEK

DENGAN PENERAPAN TEKNOLOGI SENSOR DAN MIKROKONTROLLER DI SMAN 1 PRAYA BARAT. Prosiding PEPADU. 2025;7(1):340-51.

- [2] Subhan M, Rahmawati E. Rancangan Rangkaian Listrik Otomatis Menggunakan Sensor Cahaya sebagai Media Pembelajaran STEM Berbasis Project-Based Learning untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Siswa SMP. Gravity Edu: Jurnal Pembelajaran dan Pengajaran Fisika. 2025;8(2):12-8.
- [3] Hamzah H, Sartika D, Agriawan MN. Development of Photoelectric Effect Learning Media based on Arduino Uno. Indonesian Review of Physics. 2022;5(1):8-15.
- [4] Dewa E, Panis IC, Kii OA. Edukasi alat ukur fisika dengan virtual lab Olabs dan KIT praktikum pengukuran bagi siswa SMP. Jurnal Masyarakat Madani Indonesia. 2025;4(2):217-28.
- [5] Agriawan MN, Sania S, Rasmita C, Wahyuni N, Maisarah M. Prototype sistem lampu penerangan jalan otomatis menggunakan sensor cahaya berbasis Arduino Uno. PHY. 2021:39-42.
- [6] Tulodo RP, Fitria RI, Sofyan A, Budiraharjo E. Penggunaan Simulator Wokwi untuk Meningkatkan Literasi Pemrograman Mikrokontroler dalam Proyek Internet of Things. EDUSAINTEK: Jurnal Pendidikan, Sains dan Teknologi. 2024;12(1).
- [7] Rofiah S, Retnoningsih E. Rancang bangun tempat sampah otomatis menggunakan sensor HC-SR04 berbasis Arduino Uno. Journal of Students' Research in Computer Science. 2025;6(1):125-34.
- [8] Putri A, Saehana S. Pengembangan alat praktikum menggunakan sensor ultrasonik dikombinasikan dengan arduino sebagai media bantu praktikum materi gelombang. Jurnal Inovasi Dan Pembelajaran Fisika. 2021;8(1):1-13.
- [9] Zulfikar Z, Rustana CE, Indrasari W. Pengembangan Alat Pengukur Cepat Rambat Bunyi Menggunakan Sensor Ultrasonik Sebagai Media Pembelajaran Fisika SMA. Dalam: Joint Prosiding IPS dan Seminar Nasional Fisika. 2020 Des;Vol. 9. hlm. SNF2020PF-33.
- [10] Said S, Tasya NA, Sanusi DK, Nurnaifa II, Agustini S, Setiawan T, Barumbun M.

- Arduino-Based Digital Distance Measuring Device Experiment in Tinkercad for Electronics Learning. Kasuari: Physics Education Journal (KPEJ). 2025;8(1):122-32.
- [11] Khasanah UN. Rancang Bangun Alat Ukur Volume Zat Cair Menggunakan Sensor Ultrasonik HC-SR04. Journal of Science Nusantara. 2024;4(1):1-6.
- [12] Suari M. Pengujian Sensor Jarak HC-SR04 Pada Percobaan Gerak Lurus Suatu Benda. Natural Science: Jurnal Penelitian Bidang IPA dan Pendidikan IPA. 2018;4(2):686-99.
- [13] Rahayu NT, Fatmaryanti SD, Pratiwi U. Perancangan Alat Peraga Tumbukan Menggunakan Sensor Ultrasonik HC-SR04 Berbasis Multirepresentasi. Jurnal Inovasi Pendidikan Sains (JIPS). 2021;2(1):1-8.