

# Implementasi Alat Praktikum Bandul Matematis dengan IoT Berbasis Web

Muhammad Amir Nurudin<sup>1\*</sup>, Muhammad Zulfa Zaidan Nafi<sup>2</sup>, Raply Fediansyah<sup>3</sup>, Rudi Santoso<sup>4</sup>, Triyono<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Teknik Informatika/Falkutas Ilmu  
Komputer  
Universitas Duta Bangsa  
[1\\*230103068@mhs.udb.ac.id](mailto:1*230103068@mhs.udb.ac.id)

<sup>2</sup>Teknik Informatika/Falkutas Ilmu  
Komputer  
Universitas Duta Bangsa  
[230103071@mhs.udb.ac.id](mailto:230103071@mhs.udb.ac.id)

<sup>3</sup>Teknik Informatika/Falkutas Ilmu  
Komputer  
Universitas Duta Bangsa  
[3230103075@mhs.udb.ac.id](mailto:3230103075@mhs.udb.ac.id)

<sup>4</sup> Teknik Informatika/Fakultas Ilmu  
Komputer  
Universitas Duta Bangsa  
[4 rudi\\_susanto@udb.ac.id](mailto:4 rudi_susanto@udb.ac.id)

<sup>5</sup> Teknik Informatika/Fakultas Ilmu  
Komputer  
Universitas Duta Bangsa  
[5 triyono@udb.ac.id](mailto:5 triyono@udb.ac.id)

**Abstrak**— Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah mendorong transformasi digital pada berbagai bidang, termasuk pendidikan dan laboratorium praktikum fisika. Praktikum bandul matematis yang umumnya masih dilakukan secara manual menggunakan stopwatch memiliki keterbatasan dalam hal akurasi pengukuran dan visualisasi data secara real-time. Tujuan penelitian ini adalah mengimplementasikan alat praktikum bandul matematis berbasis IoT yang terintegrasi dengan aplikasi web untuk meningkatkan akurasi pengukuran, mempermudah monitoring data, dan mendukung analisis hasil praktikum secara digital. Metode penelitian yang digunakan meliputi analisis kebutuhan sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem, serta pengujian fungsionalitas. Sistem yang dikembangkan menggunakan sensor ultrasonik untuk mengukur perubahan posisi atau simpangan bandul, serta mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah dan pengirim data ke server melalui jaringan internet. Aplikasi web dibangun menggunakan framework Laravel sebagai backend, MySQL sebagai basis data, dan Tailwind CSS sebagai frontend. Data hasil pengukuran dikirim melalui REST API dan divisualisasikan dalam bentuk grafik interaktif secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mengirimkan data sensor ke aplikasi web secara real-time, menampilkan visualisasi grafik secara interaktif, serta seluruh fitur, meliputi monitoring, komparasi data, dan ekspor laporan PDF, dapat berfungsi dengan baik sesuai kebutuhan pengguna. Kesimpulan penelitian ini adalah implementasi alat praktikum bandul matematis berbasis IoT dan web berhasil meningkatkan efektivitas pengamatan, mengurangi kesalahan pengukuran manual, serta mendukung digitalisasi pembelajaran fisika yang lebih interaktif, efisien, dan berbasis teknologi.

**Kata kunci**— Internet of Things, Bandul Matematis, ESP32, Sensor Ultrasonik, WebIoT.

**Abstract**— The advancement of Internet of Things (IoT) technology has driven digital transformation across various sectors, including education and physics laboratory experiments. Mathematical pendulum experiments, typically conducted manually using stopwatches, suffer from limitations regarding measurement accuracy and real-time data visualization. This study aims to implement an IoT-based mathematical pendulum experiment setup integrated with a web application to enhance measurement accuracy, facilitate data monitoring, and support digital analysis of experimental results. The research methodology encompasses system requirements analysis, hardware and software design, system implementation, and functionality testing. The developed system utilizes an ultrasonic sensor to measure positional changes or pendulum displacement, and an ESP32 microcontroller to process and transmit data to a server via the internet. The web application was built using the Laravel framework for the backend, MySQL for the database, and Tailwind CSS for the frontend. Measurement data is transmitted via a REST API and visualized in real-time through interactive graphs. Testing results demonstrate that the system successfully transmits sensor data to the web application in real-time and displays interactive graph visualizations; furthermore, all features—including monitoring, data comparison, and PDF report export—function effectively according to user requirements. The study concludes that the implementation of this IoT and web-based mathematical pendulum experiment setup successfully improves observational effectiveness, reduces manual measurement errors, and supports the digitalization of physics education, making it more interactive, efficient, and technology-driven.

**Keywords**— Internet of Things, Mathematical Pendulum, ESP32, Ultrasonic Sensor, WebIoT.

## I. PENDAHULUAN

Praktikum fisika merupakan salah satu metode pembelajaran yang bertujuan untuk membantu mahasiswa memahami konsep-konsep teoritis melalui kegiatan eksperimen secara langsung. Salah satu praktikum dasar yang sering dilakukan adalah

percobaan bandul matematis untuk mempelajari hubungan antara panjang tali, percepatan gravitasi, dan periode ayunan. Berbagai penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengoptimalkan praktikum bandul matematis, seperti pemanfaatan *software* pelacak (*tracker*) untuk pengukuran presisi [1],

pengembangan laboratorium virtual berbasis web [2], hingga kolaborasi komputasi percepatan gravitasi berskala global [3]. Namun, proses pengukuran pada praktikum konvensional masih banyak mengandalkan stopwatch yang dioperasikan secara manual sehingga rentan terhadap kesalahan pengamatan (*human error*) dan menghasilkan data yang kurang konsisten [4][5].

Seiring berkembangnya teknologi *Internet of Things* (IoT), berbagai perangkat laboratorium mulai diintegrasikan dengan sistem digital untuk meningkatkan akurasi pengukuran serta efisiensi pengolahan data [6]. IoT memungkinkan sensor dan perangkat elektronik saling terhubung melalui jaringan internet sehingga data dapat dikirim, diproses, dan ditampilkan secara *real-time* pada platform monitoring. Penerapan IoT dan modul berbasis simulasi dalam pendidikan, khususnya pada eksperimen fisika, telah dikembangkan secara luas untuk mewujudkan *smart education*, meningkatkan keterampilan proses sains [7], [8], dan menjembatani kesenjangan antara praktik fisik dengan instrumen virtual [9].

Berdasarkan permasalahan tersebut, dikembangkan sebuah sistem WebIoT Dashboard yang terintegrasi dengan alat praktikum bandul matematis. Sistem ini dirancang untuk melakukan pemantauan data secara *real-time*, menampilkan visualisasi grafik gelombang, menyimpan hasil pengukuran secara otomatis, serta menyediakan fitur analisis data yang lebih komprehensif. Pengembangan instrumen laboratorium bandul matematis berbasis IoT yang riil (nyata) ini [10], [11] diharapkan membuat proses praktikum tidak hanya menjadi lebih akurat, tetapi juga lebih interaktif dan mendukung digitalisasi pembelajaran fisika.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan pada pengembangan WebIoT Dashboard terdiri dari beberapa tahapan, yaitu analisis kebutuhan sistem, perancangan arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem, serta pengujian fungsionalitas [12].

Pada tahap perancangan, prototipe alat bandul matematis dilengkapi sensor yang mampu mendeteksi gerakan ayunan. Data hasil pengukuran kemudian dikirim menuju server melalui jaringan internet menggunakan konsep IoT [13]. Selanjutnya, backend yang dibangun menggunakan Laravel bertugas menerima, memvalidasi, dan menyimpan data ke dalam basis data. Pada sisi frontend, Tailwind CSS digunakan untuk membangun antarmuka pengguna yang modern dan responsif. Data yang diterima dari server divisualisasikan dalam bentuk grafik sehingga pengguna dapat melakukan pengamatan secara langsung melalui browser.

Untuk mengevaluasi keandalan sistem, pendekatan pengujian yang digunakan mencakup dua metode utama: pengujian teknis (*black-box testing* dan komparasi akurasi) serta pengujian kebergunaan (*usability testing*). Pengujian teknis dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran periode bandul antara sistem IoT dengan metode manual untuk mengukur tingkat presisi [14]. Sementara itu, pengujian kebergunaan dilakukan menggunakan instrumen kuesioner yang didistribusikan kepada pengguna (mahasiswa dan dosen) guna mengukur tingkat efektivitas dan kemudahan penggunaan prototipe laboratorium virtual ini [15].

### A. Analisis

#### 1. Analisis kebutuhan

Sistem dikembangkan untuk mengatasi proses praktikum bandul matematis yang masih dilakukan secara manual sehingga rentan terhadap kesalahan pengukuran. Oleh karena itu dibutuhkan sistem berbasis IoT yang mampu melakukan pencatatan data secara otomatis, menampilkan hasil secara *real-time*, serta menyimpan data praktikum ke dalam basis data.

#### 2. Alat

Sistem ini terdiri dari ESP32 yang mengolah dan mengirim data, sensor ultrasonik untuk menghitung jumlah ayunan dan mengukur posisi bandul, laptop sebagai media pengembangan dan monitoring, serta bandul matematis sebagai objek praktikum yang diamati pada tabel 1.

Tabel 1. Alat dan fungsi

| No | Alat              | Fungsi                            |
|----|-------------------|-----------------------------------|
| 1  | ESP32             | Mengolah dan mengirim data        |
| 2  | Sensor Ultrasonik | Mengukur posisi bandul dan ayunan |
| 3  | Laptop            | Pengembangan alat                 |
| 4  | Bandul Matematis  | Objek praktikum                   |

### 3. Bahan

Perangkat lunak yang digunakan dalam sistem ini meliputi Laravel sebagai backend, Tailwind CSS sebagai frontend, MySQL sebagai database, Arduino IDE untuk mengunggah program ke mikrokontroler, dan Visual Studio Code sebagai editor kode program pada tabel 2.

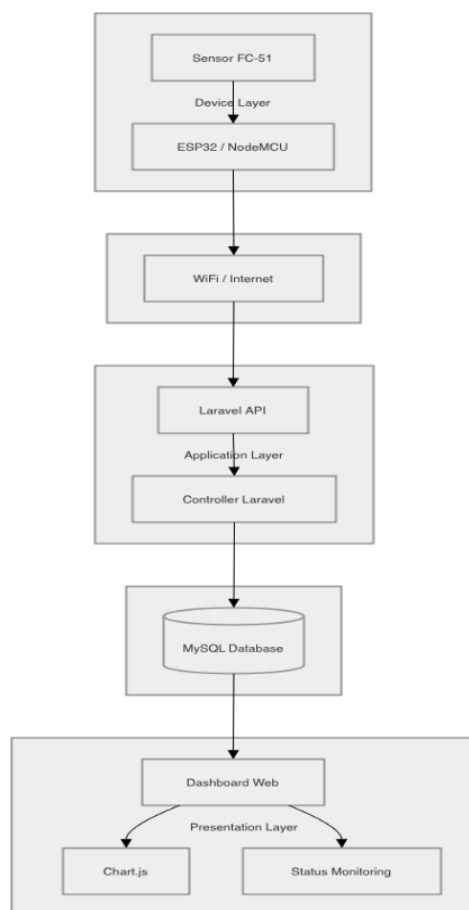
Tabel 2. Alat dan fungsi

| No | Alat         | Fungsi         |
|----|--------------|----------------|
| 1  | Laravel      | Backend        |
| 2  | Tailwind CSS | Frontend       |
| 3  | MySQL        | Database       |
| 4  | Arduino IDE  | Upload Program |
| 5  | Visual Code  | Editor         |

### B. Desain

#### 1. Diagram sistem

Diagram ini menggambarkan alur sistem IoT, dimana sensor FC-51 mengirim data ke ESP32/NodeMCU. Data diteruskan melalui internet ke server Laravel untuk diproses dan disimpan pada database MySQL. Selanjutnya, data ditampilkan pada dashboard web dalam bentuk grafik dan status monitoring secara real-time yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Arsitektur Sistem WebIoT Dashboard Bandul Matematis

#### 2. Desain antar muka

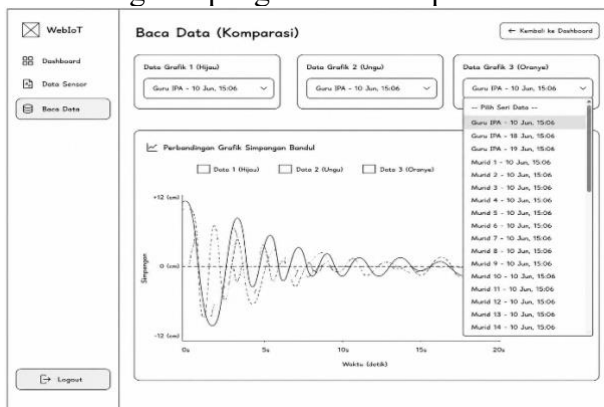
Gambar 2. Desain Antarmuka Login

Halaman login pada gambar 2 dirancang sebagai mekanisme autentikasi pengguna sebelum mengakses sistem. Pengguna memasukkan alamat email dan kata sandi yang telah terdaftar. Setelah proses autentikasi berhasil, sistem akan mengarahkan pengguna ke dashboard sesuai dengan hak akses yang dimiliki.



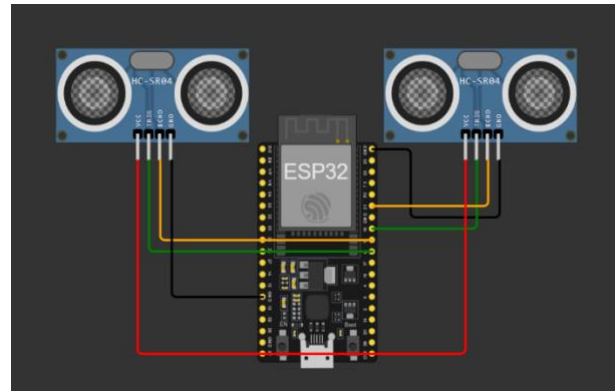
Gambar 3. Desain Antarmuka Dashboard

Halaman dashboard pada gambar 3 merupakan halaman utama yang ditampilkan setelah pengguna berhasil melakukan proses login. Antarmuka ini dirancang untuk menyajikan informasi hasil praktikum secara ringkas dan mudah dipahami, meliputi jumlah ayunan, nilai periode, status perangkat, serta visualisasi data dalam bentuk grafik secara *real-time*. Selain itu, dashboard juga menyediakan menu navigasi menuju fitur-fitur lain sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan monitoring dan pengelolaan data praktikum.



Gambar 4. Desain Antarmuka Halaman Komparasi Data

Halaman komparasi data pada gambar 4 digunakan untuk membandingkan hasil beberapa percobaan bandul matematis secara bersamaan. Sistem menyajikan data dalam bentuk grafik interaktif sehingga pengguna dapat mengamati perbedaan nilai periode, jumlah ayunan, maupun karakteristik setiap percobaan dengan lebih mudah. Fitur ini mendukung proses analisis hasil praktikum dan membantu pengguna dalam mengevaluasi perbedaan data antarpercobaan secara lebih efektif.



Gambar 5. Desain Perkabelan

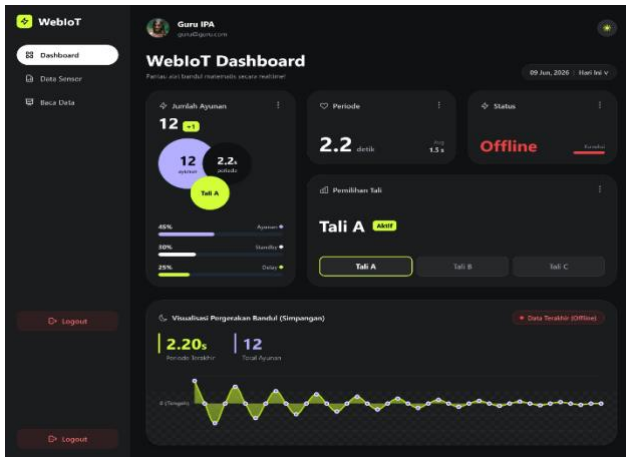
Gambar 5 menunjukkan rangkaian ESP32 yang terhubung dengan dua sensor ultrasonik HC-SR04. Kedua sensor menggunakan catu daya dari pin VIN (5V) dan GND pada ESP32, dengan sensor kiri terhubung ke GPIO 5 (TRIG) dan GPIO 18 (ECHO), sedangkan sensor kanan terhubung ke GPIO 19 (TRIG) dan GPIO 21 (ECHO). Untuk menjaga keamanan ESP32 yang menggunakan logika 3,3 V, pin ECHO sensor HC-SR04 standar disarankan melalui voltage divider atau menggunakan sensor ultrasonik yang kompatibel dengan logika 3,3 V.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Implementasi

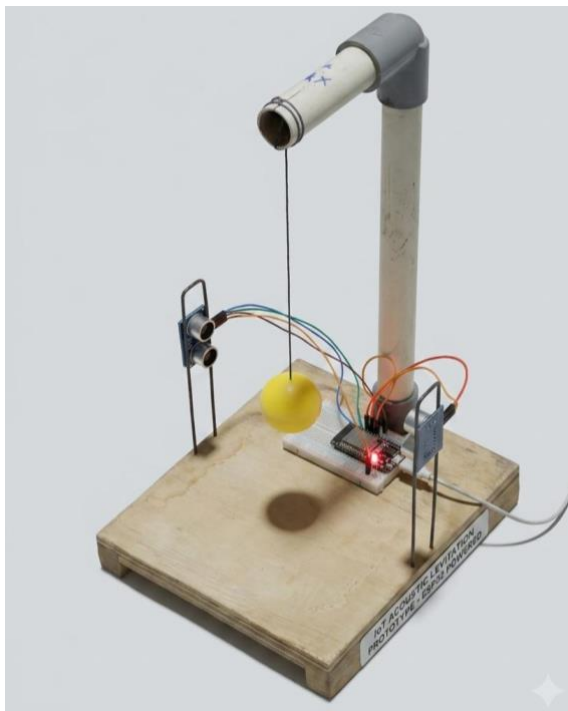
Salah satu fitur utama yang dikembangkan pada sistem ini adalah Live Dashboard yang berfungsi sebagai pusat pemantauan data eksperimen. Data berupa simpangan, periode, dan jumlah ayunan dikirim secara kontinu melalui endpoint REST API yang telah disediakan sistem.

Data yang diterima selanjutnya diproses dan divisualisasikan dalam bentuk grafik gelombang (smooth wave chart). Visualisasi ini memungkinkan pengguna mengamati pola ayunan secara *real-time* tanpa harus melakukan pencatatan manual.



Gambar 6. Tampilan Dashboard Monitoring Real-Time

Pendekatan pada gambar 6 menunjukkan bahwa sistem tidak hanya berfungsi sebagai media penyimpanan data, tetapi juga mampu menangani aliran data secara berkelanjutan dari perangkat laboratorium.



Gambar 7. Alat Bandul Matematis

Gambar 7 menunjukkan rancangan alat bandul matematis yang dilengkapi dengan dua sensor ultrasonik dan mikrokontroler ESP32 sebagai sistem akuisisi data. Alat ini dirancang untuk mengukur pergerakan bandul secara otomatis dan mengirimkan hasil pengukuran ke sistem pemantauan berbasis IoT

sehingga proses praktikum menjadi lebih akurat, efisien, dan dapat dipantau secara real-time.

### B. Pengujian

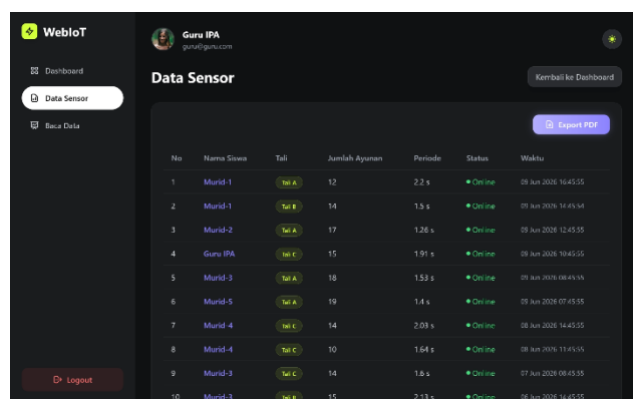
Selain menampilkan data secara real-time, sistem juga menyediakan fitur analisis data yang mendukung kebutuhan penelitian dan pembelajaran. Melalui menu Baca Data, pengguna dapat menampilkan hingga tiga grafik hasil percobaan secara bersamaan dalam satu tampilan ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Membandingkan data manual dengan stopwatch

Selain menampilkan data secara *real-time*, sistem juga menyediakan fitur analisis data yang mendukung kebutuhan penelitian dan pembelajaran. Melalui menu Baca Data, pengguna dapat menampilkan hingga tiga grafik hasil percobaan secara bersamaan (ditunjukkan pada Gambar 8). Kemampuan ini memberikan keuntungan dalam melakukan analisis komparatif terhadap beberapa percobaan yang berbeda [3].

Seluruh data yang tersimpan juga dapat ditampilkan dalam bentuk tabel interaktif yang ditunjukkan pada gambar 9.



| No | Nama Siswa | Tali   | Jumlah Ayunan | Periode | Status | Waktu                |
|----|------------|--------|---------------|---------|--------|----------------------|
| 1  | Murid-1    | Tali A | 12            | 2.2 s   | Online | 09 Jun 2026 16:45:55 |
| 2  | Murid-1    | Tali B | 14            | 1.5 s   | Online | 09 Jun 2026 14:45:54 |
| 3  | Murid-2    | Tali A | 17            | 1.26 s  | Online | 09 Jun 2026 12:45:55 |
| 4  | Guru IPA   | Tali C | 15            | 1.91 s  | Online | 09 Jun 2026 10:45:55 |
| 5  | Murid-3    | Tali A | 18            | 1.53 s  | Online | 09 Jun 2026 08:45:55 |
| 6  | Murid-5    | Tali A | 19            | 1.4 s   | Online | 09 Jun 2026 07:45:55 |
| 7  | Murid-4    | Tali C | 14            | 2.03 s  | Online | 08 Jun 2026 14:45:55 |
| 8  | Murid-4    | Tali C | 10            | 1.64 s  | Online | 08 Jun 2026 11:45:55 |
| 9  | Murid-3    | Tali C | 14            | 1.6 s   | Online | 07 Jun 2026 08:45:55 |
| 10 | Murid-3    | Tali B | 15            | 2.13 s  | Online | 06 Jun 2026 14:45:55 |

Gambar 9. Tampilan Data Log Hasil Pengukuran

Selanjutnya, pengguna dapat mengekspor data tersebut menjadi laporan berformat PDF menggunakan library DomPDF yang ditunjukkan pada gambar 10.

**Laporan Riwayat Data Sensor Bandul**  
Praktikum Fisika (Bandul Matematis Berbasis IoT)  
Tanggal Export: 09 June 2026 17:54:25

| No | Nama Siswa | Tali   | Jumlah Ayunan | Periode    | Status | Waktu Catat          |
|----|------------|--------|---------------|------------|--------|----------------------|
| 1  | Murid-1    | Tali A | 12 kali       | 2.2 detik  | Online | 09 Jun 2026 16:45:55 |
| 2  | Murid-1    | Tali B | 14 kali       | 1.5 detik  | Online | 09 Jun 2026 14:45:54 |
| 3  | Murid-2    | Tali A | 17 kali       | 1.26 detik | Online | 09 Jun 2026 12:45:55 |
| 4  | Guru IPA   | Tali C | 15 kali       | 1.91 detik | Online | 09 Jun 2026 10:45:55 |
| 5  | Murid-3    | Tali A | 18 kali       | 1.53 detik | Online | 09 Jun 2026 08:45:55 |
| 6  | Murid-5    | Tali A | 19 kali       | 1.4 detik  | Online | 09 Jun 2026 07:45:55 |
| 7  | Murid-4    | Tali C | 14 kali       | 2.03 detik | Online | 08 Jun 2026 14:45:55 |
| 8  | Murid-4    | Tali C | 10 kali       | 1.64 detik | Online | 08 Jun 2026 11:45:55 |
| 9  | Murid-3    | Tali C | 14 kali       | 1.6 detik  | Online | 07 Jun 2026 08:45:55 |
| 10 | Murid-3    | Tali B | 15 kali       | 2.13 detik | Online | 06 Jun 2026 14:45:55 |
| 11 | Murid-4    | Tali C | 11 kali       | 1.63 detik | Online | 06 Jun 2026 11:45:55 |
| 12 | Murid-1    | Tali A | 15 kali       | 1.12 detik | Online | 06 Jun 2026 11:45:54 |
| 13 | Murid-5    | Tali C | 10 kali       | 1.31 detik | Online | 06 Jun 2026 10:45:55 |
| 14 | Murid-2    | Tali B | 20 kali       | 2.22 detik | Online | 05 Jun 2026 08:45:55 |
| 15 | Guru IPA   | Tali A | 15 kali       | 1.96 detik | Online | 05 Jun 2026 07:45:55 |
| 16 | Murid-5    | Tali C | 13 kali       | 2.25 detik | Online | 04 Jun 2026 14:45:55 |
| 17 | Guru IPA   | Tali B | 20 kali       | 1.88 detik | Online | 04 Jun 2026 11:45:55 |
| 18 | Murid-2    | Tali B | 16 kali       | 2.11 detik | Online | 04 Jun 2026 09:45:55 |

Dicetak secara otomatis oleh Sistem Dashboard IoT pada 09/06/2026 17:54

Gambar 10. Hasil Export Laporan PDF

### C. Implementasi Role-Based Access dan Kolaborasi Tim

Keberhasilan pengembangan sistem tidak terlepas dari penerapan metode kerja yang terstruktur. Sistem dirancang menggunakan konsep Role-Based Access Control (RBAC) sehingga hak akses pengguna dapat dibedakan berdasarkan perannya.

Administrator atau dosen memiliki hak akses untuk mengelola data, memantau aktivitas sistem,

dan melakukan konfigurasi tertentu. Sementara itu, mahasiswa hanya diberikan akses untuk melakukan pemantauan data dan melihat hasil eksperimen.

## IV. KESIMPULAN

Pengembangan prototipe WebIoT Dashboard pada alat praktikum bandul matematis berhasil menghadirkan solusi modern dalam proses pembelajaran fisika berbasis teknologi. Sistem mampu melakukan pengambilan data secara real-time, menyajikan visualisasi grafik interaktif, serta menyediakan fitur komparasi data dan ekspor laporan PDF yang mendukung kegiatan analisis ilmiah.

Implementasi Laravel sebagai backend dan Tailwind CSS sebagai frontend menghasilkan aplikasi yang responsif, stabil, dan mudah digunakan. Berdasarkan hasil pengujian komparasi, prototipe sistem ini terbukti mampu meningkatkan akurasi pengukuran secara signifikan dibandingkan metode manual, sekaligus meminimalisir kesalahan pengamatan (human error). Selain itu, hasil evaluasi pengguna menunjukkan bahwa sistem ini sangat membantu mahasiswa dan dosen dalam melakukan observasi serta analisis data eksperimen secara lebih efektif.

Melalui integrasi teknologi IoT dan pendekatan rekayasa perangkat lunak yang terstruktur, prototipe WebIoT Dashboard ini diharapkan dapat menjadi alternatif instrumen yang mendukung digitalisasi pembelajaran fisika di perguruan tinggi dan menjembatani integrasi antara eksperimen fisik dengan teknologi virtual.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Informatika Universitas Duta Bangsa Surakarta yang telah memberikan dukungan dan fasilitas selama proses penelitian dan pengembangan sistem WebIoT Dashboard pada alat praktikum bandul matematis. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh anggota tim pengembang yang telah berkontribusi dalam perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, pengujian sistem, serta penyusunan artikel ilmiah ini. Semoga hasil penelitian ini dapat



memberikan manfaat bagi pengembangan pembelajaran fisika berbasis teknologi Internet of Things (IoT) di lingkungan pendidikan.

[15]

T. Setiawan, R. Suwanda, S. F. Anshari, R. Ananda, and F. Fanita, "Student Activities and Perceptions of Web-Based Virtual Laboratory: Insight From Physics Learning-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-NC-SA 4.0)," 2025.

## REFERENSI

- [1] M. P. M. de Souza, J. G. Maia, and L. N. de Andrade, "Pendulum Tracker -- SimuFísica: A Web-based Tool for Real-time Measurement of Oscillatory Motion," Jun. 2025, doi: 10.1088/1361-6552/adf406.
- [2] J. Ghosh, "Development of a Web-Based Virtual Laboratory for the Study of Simple Pendulum Using HTML," *Int. J. Innov. Sci. Res. Technol.*, p. 646, Jan. 2026, doi: 10.38124/ijisrt/26jan325.
- [3] F. Torres-Payoma, D. Herrera, K. Triana, L. Neira-Quintero, and J. D. Castaño-Yepes, "Computing the gravitational acceleration withing the World Pendulum Alliance: an application of the remote laboratory methodology implemented by UNAD," May 2022, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2205.01330>
- [4] A. Kurniawan and A. Siswanto, "Optimasi Pemanfaatan Instrumentasi Laboratorium Fisika Melalui Pendekatan Internet Of Things," *JURNAL PENGELOLAAN LABORATORIUM SAINS DAN TEKNOLOGI*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, Jun. 2025, doi: 10.33369/pelastek.v3i1.41759.
- [5] S. Wahyuni Rozi, F. Pendidikan Matematik dan Ilmu Pengetahuan Alam, I. Pendidikan Tapanuli Selatan, and U. Muhammadiyah Tapanuli Selatan, "Thofik Hidayat 2) , Lia Purnama Sari 3) , Hanifah Nur Nasution 4) , Dwi Aninditya Siregar 5)," *Unita Sukma Zuliani Nasution*, vol. 7, no. 8, 2026, doi: 10.37081/ed.v14i1.7609.
- [6] A. Badshah, A. Ghani, A. Daud, A. Jalal, M. Bilal, and J. Crowcroft, "Towards Smart Education through the Internet of Things: A Review," Apr. 2023, doi: 10.1145/3610401.
- [7] St.Hajar, Ahmad Fauzi, Winda Pratiwi, Gunawan Gunawan, and Nina Nisrina, "IoT in Physics Experiments to Improve Science Process Skills," 2026.
- [8] K. D. H. Gunawan *et al.*, "Innovating IoT instruction through simulation-based modules: An R&D study in higher education," *Momentum: Physics Education Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 374–385, Sep. 2025, doi: 10.21067/mpej.v9i2.12897.
- [9] A. Halder and S. Banerjee, "Bridging the Gap Between Virtual and Physical Laboratories: A Web-Based Interactive Platform for Undergraduate Physics Practicals," Jul. 2025, doi: 10.1088/1361-6552/ac29d5.
- [10] A. Sudarmanto, J. B. Poernomo, and A. R. Maulana, "The IoT-Based Mathematical Pendulum Real Laboratory Tool," *Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics-fiziya*, vol. 6, no. 2023, pp. 92–103, 2024, doi: 10.15408/fiziya.v6i2.37445.
- [11] Muh. Wahyudi, A. Azmar, S. Muhayadi, and M. A. Firmansyah, "Development of Physics Digital Props Based on the Internet of Things (IoT) on the Material of Motion Dynamics," *Jurnal Pendidikan Fisika*, vol. 12, no. 2, pp. 109–120, Apr. 2024, doi: 10.26618/jpf.v12i2.12476.
- [12] K. Kismunthofiah, A. Purnamaningrum, and B. I. Norra, "PRACTICUMMA: AN OPEN PLATFORM FOR ONLINE PRACTICUM AT ELEVENTH GRADE SCIENCE STUDENTS," *Jurnal Pendidikan Matematika dan IPA*, vol. 14, no. 2, p. 200, Jul. 2023, doi: 10.26418/jpmipa.v14i2.56126.
- [13] I. Ishafit, S. Sriyanto, T. K. Indratno, Moh. I. Sukarelawan, and Y. D. Prabowo, "Remote laboratory development for online learning of modern physics experiments: initial development," *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika*, vol. 11, no. 2, pp. 97–103, Oct. 2024, doi: 10.12928/jrkpf.v11i2.1098.
- [14] J. Pebralia and I. Amri, "JIFP (Jurnal Ilmu Fisika dan Pembelajarannya) EKSPERIMEN GERAK PENDULUM MENGGUNAKAN SMARTPHONE BERBASIS PHYPHOX: PENERAPAN PRAKTIKUM FISIKA DASAR SELAMA MASA COVID-19 Pendulum Experiments Using A Smartphone-Based Phyphox: An Application of Basic Physics Experiment Course During Covid-19," vol. 5, no. 2, pp. 10–14, 2021, [Online]. Available: <http://jurnal.radenfatah.ac.id/index.php/jifp/>