

# Pengembangan Media Praktikum Momentum dan Tumbukan Berbasis IoT Menggunakan MQTT

Jibran Ma'ruf<sup>1\*</sup>, Aditiya Rasendra Putra<sup>2</sup>, Farid Ainur Ridho<sup>3</sup>, Rudi Susanto<sup>4</sup>, Triyono<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

[1\\*230103105@udb.ac.id](mailto:1*230103105@udb.ac.id)

<sup>2</sup>Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

[230103123@udb.ac.id](mailto:230103123@udb.ac.id)

<sup>3</sup>Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

[230103134@udb.ac.id](mailto:230103134@udb.ac.id)

<sup>4</sup>Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

[4rudi\\_susanto@udb.ac.id](mailto:4rudi_susanto@udb.ac.id)

<sup>5</sup>Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

[5triyono@udb.ac.id](mailto:5triyono@udb.ac.id)

**Abstrak**— Praktikum momentum dan tumbukan masih menghadapi masalah seperti pengukuran waktu dan pencatatan data manual. Kesalahan dan penurunan efisiensi praktik dapat terjadi. Dengan menggunakan protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan media praktikum momentum dan tumbukan yang berbasis Internet of Things (IoT). Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) yang meliputi tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, serta analisis dan evaluasi sistem. Sistem dikembangkan untuk mengelola data praktikum menggunakan mikrokontroler ESP32, empat sensor FC-51, LCD 16×2 I2C, dan website berbasis Laravel. Dengan menggunakan MQTT dan koneksi SSL/TLS, HiveMQ Cloud mengirim dan menampilkan hasil pengukuran secara real-time. Pada skenario tumbukan tidak lenting sama sekali, pengujian dilakukan 10 kali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat mengukur waktu tempuh, kecepatan awal, kecepatan akhir, momentum awal, dan momentum akhir secara otomatis serta mengirimkan hasil pengukuran ke web dengan baik. Sistem memperoleh rata-rata persentase error sebesar 11,10% terhadap nilai teoritis, menurut analisis hasil pengujian. Media praktikum yang dikembangkan dapat membantu pembelajaran fisika karena memungkinkan pengukuran otomatis, mengelola data digital, dan memantau hasil praktikum secara real-time.

**Kata kunci**— Internet of Things, MQTT, ESP32, Momentum, Tumbukan, Media Praktikum.

**Abstract**— Momentum and collision lab experiments still face challenges such as time measurement and manual data recording. Errors and reduced efficiency in these experiments can occur. By using the Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol, this study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based platform for momentum and collision lab experiments. This study employs a Research and Development (R&D) methodology, which includes the stages of requirements analysis, system design, implementation, testing, and system analysis and evaluation. The system was developed to manage lab data using an ESP32 microcontroller, four FC-51 sensors, a 16×2 I2C LCD, and a Laravel-based website. Using MQTT and SSL/TLS connections, HiveMQ Cloud transmits and displays measurement results in real time. In the scenario of a completely inelastic collision, testing was conducted 10 times. The results show that the system can automatically measure travel time, initial velocity, final velocity, initial momentum, and final momentum, and successfully transmit the measurement results to the web. According to the analysis of the test results, the system had an average error percentage of 11.10% compared to theoretical values. The developed lab tool can aid in physics education because it enables automatic measurements, manages digital data, and monitors lab results in real time.

**Keywords**— Internet of Things, MQTT, ESP32, Momentum, Collision, Laboratory Media.

## I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan Internet of Things sebagai media pembelajaran memungkinkan peningkatan efisiensi kegiatan praktikum melalui pengukuran yang lebih akurat, penyimpanan data digital, dan kemudahan dalam proses pemantauan [1]. Selain itu, integrasi perangkat keras, sensor, dan jaringan internet memungkinkan proses

pengukuran dilakukan secara otomatis dan hasilnya dapat dipantau secara real-time.

Salah satu konsep yang diperlukan dalam pembelajaran fisika adalah materi momentum dan tumbukan. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa siswa memiliki pemahaman yang sedang tentang materi momentum dan impuls [2]. Namun, ketelitian pengukuran sangat dipengaruhi oleh faktor manusia karena

praktikum laboratorium biasanya menggunakan stopwatch dan pencatatan manual. Selain itu, melakukan praktikum secara manual dapat menyebabkan kesalahan pencatatan dan masalah pengelolaan data, terutama ketika banyak peserta.

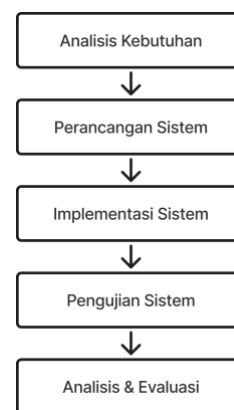
Media praktikum berbasis mikrokontroler dan Internet of Things telah digunakan dalam beberapa penelitian untuk mengotomatisasi proses pengukuran kecepatan benda. Contohnya adalah alat praktikum berbasis Arduino yang secara otomatis mengukur kecepatan dan waktu pada gerak jatuh bebas [3], alat praktikum tumbukan menggunakan mikrokontroler, sensor ultrasonik, dan lintasan air track [4], dan media praktikum pelayangan gelombang berbasis mikrokontroler Arduino Uno[5]. Tetapi kebanyakan penelitian masih berfokus pada proses akuisisi data dan belum mengintegrasikan seluruh proses praktikum, seperti mengelola peserta, mengirim data secara real-time, menyimpannya di basis data, dan menampilkan hasil praktikum melalui website dalam sistem yang terintegrasi.

Untuk menyelesaikan masalah tersebut, penelitian ini menggunakan protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) untuk mengembangkan media praktikum momentum dan tumbukan berbasis Internet of Things. Sistem menggunakan website berbasis Laravel untuk melacak dan mengelola data praktikum, ESP32 sebagai pengendali utama, dan sensor FC-51 untuk mendeteksi pergerakan mobil pada lintasan. Protokol MQTT memungkinkan pengiriman, penyimpanan, dan penampilan hasil pengukuran secara real-time melalui cloud HiveMQ.

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat media praktikum yang dapat secara otomatis mengukur kecepatan dan momentum serta mengelola hasil praktikum secara digital. Dalam skenario tumbukan tidak lenting dengan dua mobil bermassa sama, kinerja sistem diuji. Hasil penelitian diharapkan dapat membangun media pembelajaran fisika berbasis Internet of Things yang dapat mendukung praktikum dengan cara yang lebih efisien, akurat, dan terdokumentasi dengan baik.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) yang berfokus pada pengembangan media praktikum momentum dan tumbukan berbasis Internet of Things (IoT). Metode ini mengikuti tahapan penelitian dan pengembangan yang biasa digunakan dalam penelitian pengembangan produk pendidikan [6]. Media praktikum mendukung pembelajaran fisika melalui pengukuran kecepatan dan momentum dan penyimpanan digital. Analisis kebutuhan, perancangan perangkat lunak dan perangkat keras, implementasi sistem menggunakan ESP32, komunikasi data melalui protokol MQTT dengan broker HiveMQ Cloud, dan pengembangan website berbasis Laravel sebagai media pemantauan dan penyimpanan data termasuk dalam pengembangan sistem. Selanjutnya, skenario tumbukan tidak lenting digunakan untuk menguji kinerja sistem dalam mengukur kecepatan, momentum, dan persentase error. Tahapan penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian

### A. Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan serta menentukan kebutuhan fungsional dan nonfungsional dalam pengembangan media praktikum momentum dan tumbukan berbasis Internet of Things (IoT). Berdasarkan hasil observasi terhadap pelaksanaan praktikum, proses pengukuran waktu masih menggunakan stopwatch dan pencatatan hasil pengujian masih dilakukan secara manual sehingga ketelitian pengukuran sangat bergantung pada respons pengamat serta

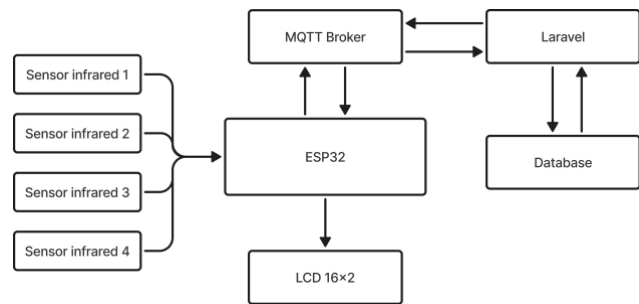
berpotensi menimbulkan kesalahan pencatatan data. Selain itu, hasil praktikum belum terdokumentasi secara digital sehingga proses penyimpanan, pengelolaan, dan evaluasi data menjadi kurang efisien. Oleh karena itu, diperlukan suatu media praktikum yang mampu melakukan pengukuran kecepatan dan momentum secara otomatis, mengirimkan hasil pengukuran secara real-time melalui protokol MQTT, serta menyimpan data praktikum ke dalam database yang dapat diakses melalui website. Berdasarkan kebutuhan tersebut, sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor FC-51 sebagai pendeteksi objek, HiveMQ Cloud sebagai broker MQTT, dan website berbasis Laravel sebagai media monitoring, pengelolaan, serta penyimpanan hasil praktikum.

### B. Perancangan Sistem

Media praktikum terdiri dari HiveMQ Cloud sebagai broker MQTT, ESP32 sebagai pengendali utama, empat sensor FC-51 untuk mendeteksi pergerakan mobil, dan LCD 16×2 I2C sebagai media informasi. Selain itu, website berbasis Laravel digunakan untuk melacak dan menyimpan data praktikum. Dipilih untuk komunikasi data real-time antara perangkat Internet of Things (IoT) dan aplikasi web, protokol MQTT dipilih karena ukurannya yang ringan dan latensi rendah[7].

#### 1. Diagram Blok

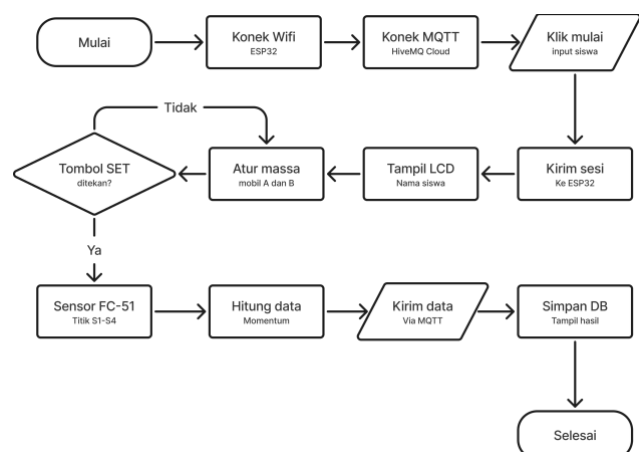
Diagram blok sistem menunjukkan hubungan antar komponen utama yang terdiri atas ESP32, empat sensor FC-51, LCD 16×2 I2C, push button, broker HiveMQ Cloud, website Laravel, dan database MySQL. Sensor FC-51 digunakan untuk mendeteksi posisi mobil pada setiap titik pengukuran, sedangkan ESP32 bertugas melakukan proses perhitungan dan komunikasi data ke server. Gambar 2 menunjukkan bagaimana komponen utama sistem berhubungan satu sama lain.



Gambar 2. Diagram blok

#### 2. Flowchart Sistem

Flowchart sistem menunjukkan urutan proses yang dilakukan di praktikum. Operator memilih data siswa dan website mengirimkan informasi sesi praktikum ke ESP32 melalui protokol MQTT untuk memulai proses. Dengan menggunakan tombol pada alat, pengguna dapat mengatur massa mobil A dan B. Kemudian, untuk memulai pengujian, pengguna menekan tombol SET. ESP32 mengukur waktu saat mobil melewati sensor S1, S2, S3, dan S4. Selanjutnya, itu menghitung kecepatan awal, kecepatan akhir, momentum awal, momentum akhir, dan persentase kesalahan. Setelah seluruh proses perhitungan selesai, data hasil praktikum dikirim ke website melalui broker MQTT dan disimpan dalam database MySQL. Gambar 3 menunjukkan cara sistem bekerja.

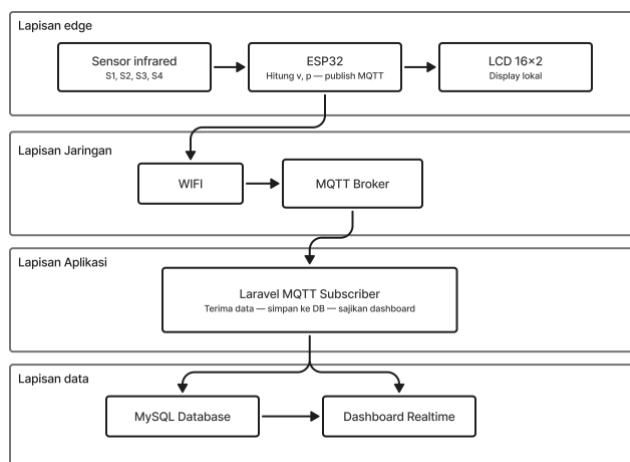


Gambar 3. Flowchart sistem

#### 3. Desain Komunikasi

Sistem merancang komunikasi data menggunakan metode publish-subscribe dengan HiveMQ Cloud sebagai broker MQTT. Metode ini mengikuti pendekatan komunikasi real-time

berbasis ESP32 dan protokol MQTT yang telah terbukti berhasil dalam penelitian serupa [8], [9]. Website berbasis Laravel berfungsi sebagai penerbit, mengirimkan informasi sesi praktikum melalui topic `momentum-iot/session/start`, dan ESP32 berfungsi sebagai pelanggan, menerima informasi tersebut. Setelah proses praktikum selesai, ESP32 mengirimkan hasil pengukuran melalui topic `momentum-iot/result`, dan secara berkala mengirimkan status perangkat melalui topic `momentum-iot/status`. Website Laravel kemudian berfungsi sebagai subscriber, menerima seluruh data dari broker MQTT, menyimpannya ke dalam database MySQL, dan menampilkan hasil praktikum pada dashboard pengawasan secara real-time. Gambar 4 menunjukkan desain komunikasi MQTT yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4. Desain komunikasi

#### 4. Perancangan Hardware

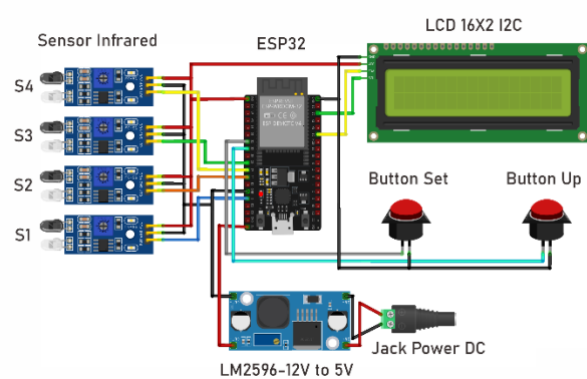
Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas mikrokontroler ESP32, sensor FC-51, LCD 16×2 I2C, push button, serta beberapa komponen pendukung lainnya. Masing-masing komponen memiliki fungsi yang berbeda dalam mendukung proses pengukuran, pengolahan data, dan komunikasi antara perangkat dengan website. Daftar komponen yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen Perangkat Keras

| Komponen         | Fungsi                  |
|------------------|-------------------------|
| ESP32U DevKit V4 | Pengendali utama sistem |

|                             |                                         |
|-----------------------------|-----------------------------------------|
| Sensor FC-51 (4 buah)       | Mendeteksi pergerakan mobil             |
| LCD 16×2 I2C                | Menampilkan informasi sistem            |
| Push Button SET             | Memulai pengujian                       |
| Push Button UP              | Mengatur massa mobil                    |
| Mobil A dan Mobil B         | Objek praktikum                         |
| Plastisin                   | Menyatukan kedua mobil setelah tumbukan |
| Breadboard dan Kabel Jumper | Penghubung rangkaian elektronik         |
| Adaptor 12 V DC             | Sumber catu daya utama sistem           |
| Modul LM2596                | Menurunkan tegangan 12 V ke 5V          |

Berdasarkan rancangan tersebut, hubungan antar komponen perangkat keras direalisasikan dalam bentuk skema rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 5.



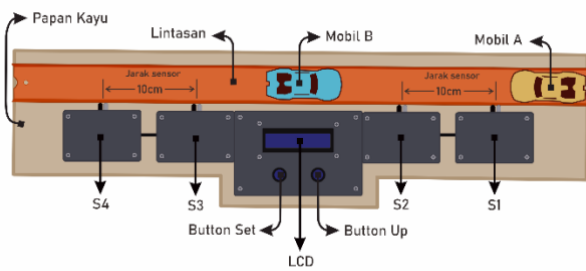
Gambar 5. Skema rangkaian

Posisi pemasangan sensor pada lintasan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Posisi Sensor pada Lintasan

| Sensor         | Posisi |
|----------------|--------|
| S1             | 10 cm  |
| S2             | 20 cm  |
| Titik Tumbukan | 30 cm  |
| S3             | 40 cm  |
| S4             | 50 cm  |

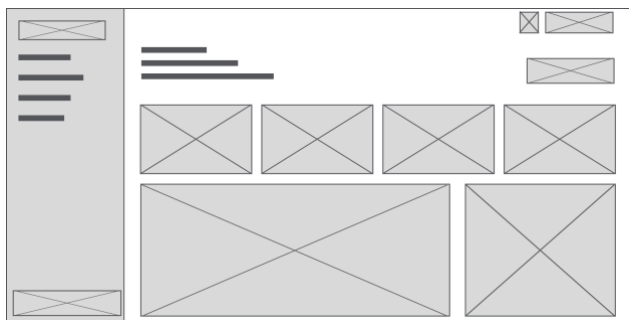
Selanjutnya, rancangan perangkat keras diimplementasikan menjadi media praktikum momentum dan tumbukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Desain alat

### 5. Perancangan Software

Perangkat lunak yang dikembangkan dalam penelitian ini dibuat dengan menggunakan IDE Arduino untuk pemrograman mikrokontroler ESP32 dan framework Laravel untuk membangun website monitoring. ESP32 membaca data dari sensor FC-51 dan menghitung kecepatan awal, kecepatan akhir, momentum awal, dan persentase error berdasarkan data waktu. Kemudian, menggunakan protokol MQTT yang sama yang digunakan pada sistem monitoring IoT lainnya yang berbasis MQTT, hasil pengukuran dikirim ke broker HiveMQ Cloud [10]. Selanjutnya, website Laravel menerima data, menyimpannya ke dalam database MySQL, dan menampilkan hasil praktikum dalam bentuk tabel dan grafik. Metode ini mengikuti pendekatan integrasi ESP32, database MySQL, dan Laravel yang telah digunakan pada sistem monitoring IoT berbasis web lainnya [11]. Pada gambar 7 menunjukkan desain website.



Gambar 7. Desain website

### 6. Rumus Perhitungan

Perhitungan pada penelitian ini meliputi perhitungan selisih waktu, kecepatan, momentum, hukum kekekalan momentum, dan persentase error. Persamaan yang digunakan dalam

penelitian ini ditunjukkan pada Persamaan (1) sampai Persamaan (10).

$$\Delta t_1 = t_2 - t_1 \quad (1)$$

$$v_1 = \frac{s}{\Delta t_1} \quad (2)$$

$$\Delta t_2 = t_4 - t_3 \quad (3)$$

$$v' = \frac{s}{\Delta t_2} \quad (4)$$

$$p_1 = m_1 v_1 \quad (5)$$

$$p_2 = (m_1 + m_2) v' \quad (6)$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v' \quad (7)$$

$$v_2 = 0 \quad (8)$$

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v' \quad (9)$$

$$Error = \left| \frac{p_1 - p_2}{p_1} \right| \times 100\% \quad (10)$$

Keterangan:

$t_1$  = waktu saat mobil melewati sensor S1 (s)

$t_2$  = waktu saat mobil melewati sensor S2 (s)

$t_3$  = waktu saat mobil melewati sensor S3 (s)

$t_4$  = waktu saat mobil melewati sensor S4 (s)

$s$  = jarak antar sensor (0,10 m)

$m_1$  = massa mobil A (kg)

$m_2$  = massa mobil B (kg)

$v_1$  = kecepatan awal sebelum tumbukan (m/s)

$v'$  = kecepatan setelah tumbukan (m/s)

$p_1$  = momentum awal (kg·m/s)

$p_2$  = momentum akhir (kg·m/s)

### 7. Metode Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan media praktikum untuk mengukur kecepatan dan momentum secara otomatis dan menggunakan protokol MQTT untuk mengirimkan hasil pengukuran ke website secara real-time. Pengujian dilakukan pada skenario tumbukan tidak lenting dengan dua mobil masing-masing massa 39 gram yang disatukan dengan plastisin setelah tumbukan. Sensor S1 dan S2 memiliki jarak 10 cm satu sama lain, dan sensor S3 dan S4 memiliki area tumbukan. Dengan menggunakan koneksi SSL/TLS, broker HiveMQ Cloud menerima semua data. Ini sejalan dengan arsitektur ESP32 berbasis protokol MQTT yang digunakan dalam penelitian IoT sebelumnya [12].

Pengujian dimulai dengan mengirimkan informasi sesi praktikum ke ESP32 melalui MQTT dengan memilih data siswa pada website. Setelah ESP32 menerima sesi praktikum, pengguna mengatur massa mobil dengan

menekan tombol alat dan kemudian menekan tombol SET untuk memulai pengujian. Mobil A didorong menuju mobil B, sehingga sensor FC-51 mendeteksi pergerakan mobil saat melewati sensor S1 hingga S4. Kemudian, berdasarkan data waktu, ESP32 menghitung kecepatan awal, kecepatan akhir, momentum awal, dan persentase error. Selanjutnya, hasil pengukuran dikirim ke website, disimpan dalam database MySQL, dan pengujian diulang sepuluh kali untuk mendapatkan data yang digunakan untuk analisis.

### 8. Metode Analisis Data

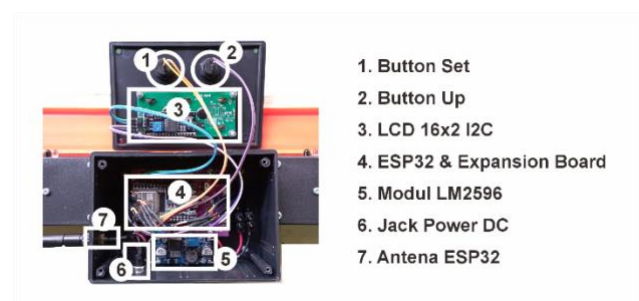
Metode kuantitatif digunakan untuk menganalisis hasil pengujian. Data waktu dari sensor FC-51 digunakan untuk menghitung kecepatan awal dan kecepatan akhir berdasarkan jarak antar sensor. Kemudian, momentum awal dan momentum akhir dihitung dengan massa masing-masing mobil. Untuk mendapatkan persentase error, nilai momentum yang diperoleh dari pengukuran dibandingkan dengan nilai teoritis.

Kemudian, hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, termasuk grafik perbandingan kecepatan awal dan kecepatan akhir, grafik perbandingan momentum awal dan momentum akhir, dan grafik persentase kesalahan. Analisis tersebut digunakan untuk mengevaluasi seberapa baik media praktikum berfungsi dan seberapa sesuai teori hukum kekekalan momentum pada tumbukan tidak lenting sama sekali.

menggunakan adaptor 12 V sebagai sumber catu daya yang diturunkan menjadi 5 V menggunakan modul LM2596 Step-Down untuk mensuplai seluruh rangkaian. Keempat sensor FC-51 dipasang pada lintasan sesuai dengan rancangan yang telah dijelaskan pada BAB II, di mana sensor S1–S2 digunakan untuk mengukur kecepatan awal sebelum tumbukan, sedangkan sensor S3–S4 digunakan untuk mengukur kecepatan setelah tumbukan. Area di antara sensor S2 dan S3 merupakan titik terjadinya tumbukan tidak lenting sama sekali. Implementasi perangkat keras yang telah direalisasikan ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Implementasi perangkat keras



Gambar 9. Tata letak komponen

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Implementasi Sistem

Media praktikum momentum dan tumbukan berhasil diimplementasikan menggunakan ESP32 sebagai pusat pengendali sistem. Perangkat keras terdiri atas empat sensor FC-51 yang dipasang pada lintasan untuk mendeteksi pergerakan mobil, LCD 16×2 I2C sebagai media informasi lokal, dua buah push button untuk pengaturan massa dan memulai pengujian, serta modul WiFi bawaan ESP32 yang berfungsi menghubungkan perangkat dengan broker MQTT melalui jaringan internet. Sistem juga

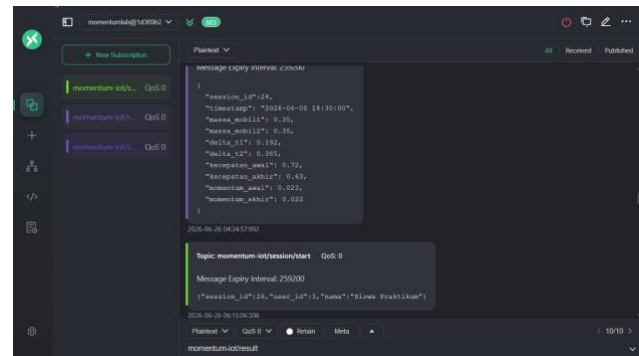
Website pada penelitian ini dikembangkan menggunakan framework Laravel sebagai pusat pengelolaan praktikum, monitoring sistem, dan penyimpanan data hasil pengujian. Website menyediakan fitur pengelolaan data siswa, pemilihan sesi praktikum, monitoring status ESP32, monitoring data MQTT secara real-time, penyimpanan hasil praktikum ke dalam database MySQL, riwayat praktikum, serta ekspor laporan hasil pengujian. Seluruh data hasil pengukuran yang dikirim oleh ESP32 melalui broker HiveMQ Cloud menggunakan protokol MQTT diterima oleh website, kemudian diproses,

disimpan ke dalam database, dan ditampilkan secara real-time pada dashboard sehingga memudahkan pengguna dalam memantau proses praktikum dan mengakses hasil pengujian. Implementasi website ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Implementasi website

Implementasi komunikasi data pada media praktikum menggunakan metode publish-subscribe melalui broker HiveMQ Cloud dengan koneksi SSL/TLS. Website berbasis Laravel mengirimkan informasi sesi praktikum ke ESP32 melalui topic `momentum-iot/session/start`. Setelah proses pengujian selesai, ESP32 mengirimkan data hasil praktikum melalui topic `momentum-iot/result`, serta mengirimkan status perangkat secara berkala melalui topic `momentum-iot/status`. Seluruh data yang diterima website kemudian disimpan ke dalam database MySQL dan ditampilkan pada dashboard secara real-time. Implementasi komunikasi MQTT yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Testing komunikasi dengan software MQTTX

## B. Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan 10 kali dengan skenario tumbukan tidak lenting. Percobaan ini dimulai dengan mendorong mobil A menuju mobil B yang berada dalam keadaan diam, dengan massa mobil A sebesar 39 gram dan massa mobil B sebesar 39 gram masing-masing, sehingga kedua mobil dapat bergerak bersama. Selanjutnya, sistem menggunakan empat sensor FC-51 untuk mengukur waktu tempuh sebelum dan sesudah tumbukan. Ini juga menghitung kecepatan awal, kecepatan akhir, momentum awal, dan momentum akhir, dan secara real-time mengirimkan hasil pengukuran ke website melalui protokol MQTT. Pada Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 3. Hasil Pengujian Media Praktikum Momentum dan Tumbukan

| No | Massa A (kg) | Massa B (kg) | $\Delta t_1$ (s) | $\Delta t_2$ (s) | Kecepatan Awal (m/s) | Kecepatan Akhir (m/s) | Momentum Awal (kg·m/s) | Momentum Akhir (kg·m/s) | Error (%) |
|----|--------------|--------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-----------|
| 1  | 0.039        | 0.039        | 0.083000         | 0.184307         | 1.204819             | 0.542573              | 0.046988               | 0.042321                | 9.93      |
| 2  | 0.039        | 0.039        | 0.077981         | 0.172858         | 1.282364             | 0.578510              | 0.050012               | 0.045124                | 9.77      |
| 3  | 0.039        | 0.039        | 0.082404         | 0.185245         | 1.213533             | 0.539826              | 0.047328               | 0.042106                | 11.03     |
| 4  | 0.039        | 0.039        | 0.080325         | 0.174740         | 1.244942             | 0.572279              | 0.048553               | 0.044638                | 8.06      |
| 5  | 0.039        | 0.039        | 0.093330         | 0.214228         | 1.071467             | 0.466792              | 0.041787               | 0.036410                | 12.87     |
| 6  | 0.039        | 0.039        | 0.074766         | 0.162573         | 1.337506             | 0.615108              | 0.052163               | 0.047978                | 8.02      |
| 7  | 0.039        | 0.039        | 0.088781         | 0.206088         | 1.126367             | 0.485230              | 0.043928               | 0.037848                | 13.84     |
| 8  | 0.039        | 0.039        | 0.076944         | 0.170063         | 1.299646             | 0.588017              | 0.050686               | 0.045865                | 9.51      |
| 9  | 0.039        | 0.039        | 0.087561         | 0.202444         | 1.142061             | 0.493964              | 0.044540               | 0.038529                | 13.50     |

10      0.039      0.039      0.094062      0.219865      1.063129      0.454825      0.041462      0.035476      14.44

Sebagai contoh digunakan data hasil Pengujian ke-6 Tabel 3 yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Pengujian ke-6

| Parameter     | Nilai      |
|---------------|------------|
| Massa Mobil A | 0,039 kg   |
| Massa Mobil B | 0,039 kg   |
| $\Delta t_1$  | 0,074766 s |
| $\Delta t_2$  | 0,162573 s |
| Jarak S1–S2   | 0,10 m     |
| Jarak S3–S4   | 0,10 m     |

Berdasarkan data pada Tabel 4, kecepatan awal dihitung menggunakan Persamaan (2) sehingga diperoleh:

$$v_1 = \frac{0,10}{0,074766} = 1,337506 \text{ m/s}$$

kecepatan setelah tumbukan dihitung menggunakan Persamaan (4):

$$v' = \frac{0,10}{0,162573} = 0,615108 \text{ m/s}$$

Momentum awal dihitung menggunakan Persamaan (5):

$$p_1 = 0,039 \times 1,337506 = 0,052163 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Momentum akhir dihitung menggunakan Persamaan (6):

$$p_2 = (0,039 + 0,039) \times 0,615108 = 0,047978 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Persentase error dihitung menggunakan Persamaan (10):

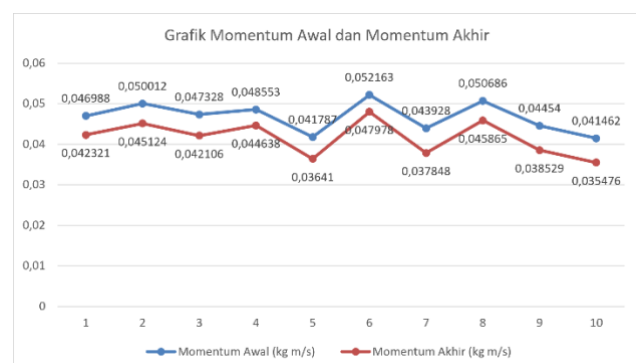
$$\begin{aligned} \text{Error} &= \left| \frac{0,052163 - 0,047978}{0,052163} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{0,004185}{0,052163} \right| \times 100\% \\ &= 8,02\% \end{aligned}$$

Hasil pengukuran memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap nilai teoritis, seperti yang ditunjukkan oleh persentase error sebesar 8,02% berdasarkan hasil perhitungan. Beberapa hal dapat menyebabkan perbedaan antara hasil eksperimen dan teori. Ini termasuk gesekan lintasan dan roda mobil, deformasi plastisin selama tumbukan, dan variasi gaya dorong awal yang diberikan secara manual.



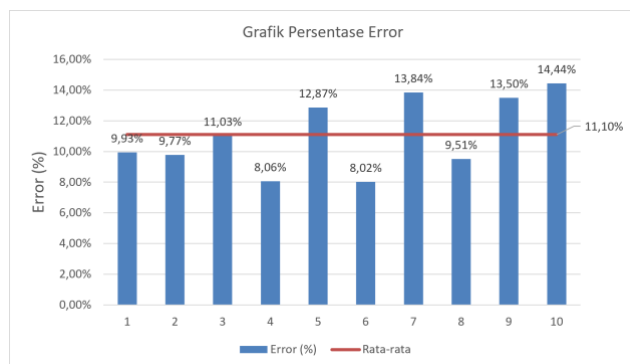
Gambar 12. Grafik kecepatan awal dan kecepatan akhir

Sepanjang percobaan, pada grafik gambar 12 kecepatan akhir selalu lebih rendah daripada kecepatan awal, seperti yang ditunjukkan pada grafik. Penurunan kecepatan ini disebabkan oleh penyatuan plastisin mobil setelah tumbukan, yang menghasilkan transformasi energi kinetik menjadi energi panas, energi bunyi, dan energi deformasi. Hasil tersebut sesuai dengan sifat tumbukan tidak lenting, di mana kecepatan sistem menjadi lebih rendah setelah tumbukan dibandingkan dengan sebelum tumbukan.



Gambar 13. Grafik momentum awal dan momentum akhir

Pada gambar 13 Grafik perbandingan momentum menunjukkan bahwa nilai momentum akhir sedikit berbeda dibandingkan momentum awal. Secara teoritis, momentum total sistem tetap sesuai hukum kekekalan momentum. Perbedaan yang diperoleh pada hasil eksperimen disebabkan oleh faktor-faktor seperti gesekan antara roda mobil dan lintasan, hambatan udara, deformasi plastisin, toleransi sensor, serta variasi gaya dorong awal. Oleh karena itu, selisih momentum yang muncul merupakan error pengukuran, bukan penyimpangan terhadap konsep hukum kekekalan momentum.



Gambar 14. Grafik persentase error

Menurut grafik persentase error pada gambar 14, seluruh hasil pengujian berkisar antara 8,02% dan 14,44%, dengan rata-rata 11,10% terhadap nilai teoritis. Nilai error yang relatif stabil pada setiap percobaan menunjukkan bahwa sistem sangat konsisten dalam melakukan pengukuran dan perhitungan secara otomatis.

### C. Pembahasan

Media praktikum yang dikembangkan mampu mengukur waktu tempuh mobil secara otomatis menggunakan empat sensor FC-51, yang pada studi sebelumnya memiliki tingkat akurasi pendeteksian objek di atas 95% [13]. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3. Untuk menghitung kecepatan dan momentum, ESP32 memproses data waktu dan kemudian mengirimkannya ke website berbasis Laravel melalui protokol MQTT menggunakan broker HiveMQ Cloud. Setiap hasil pengukuran yang berhasil ditampilkan secara instan dan disimpan

ke dalam database, sehingga tidak perlu mencatatnya secara manual.

Kecepatan setelah tumbukan selalu lebih rendah daripada kecepatan sebelum tumbukan, seperti yang ditunjukkan pada grafik perbandingan kecepatan. Selama tumbukan, kecepatan turun karena energi kinetik diubah menjadi panas, bunyi, dan deformasi plastisin. Hasil tersebut sesuai dengan fitur tumbukan tidak lenting di mana kedua mobil bergerak bersama setelah tumbukan.

Grafik momentum menunjukkan adanya sedikit perbedaan antara momentum awal dan momentum akhir. Secara teoritis, momentum total sistem tetap sesuai dengan hukum kekekalan momentum, sedangkan perbedaan yang diperoleh pada hasil eksperimen merupakan error pengukuran yang dipengaruhi oleh gesekan lintasan, hambatan udara, deformasi plastisin, toleransi sensor, serta variasi gaya dorong awal. Meskipun demikian, media praktikum mampu merepresentasikan konsep hukum kekekalan momentum dengan baik.

Berdasarkan grafik persentase error, diperoleh nilai error sebesar 8,02% - 14,44% dengan rata-rata 11,10% terhadap nilai teoritis. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat kesesuaian yang cukup baik terhadap nilai teoritis dan menghasilkan pengukuran yang relatif konsisten pada setiap percobaan. Temuan ini sejalan dengan penelitian mengenai implementasi MQTT pada sistem monitoring berbasis Internet of Things [14], [15], sehingga media praktikum yang dikembangkan layak digunakan sebagai media pembelajaran fisika berbasis IoT.

Secara keseluruhan, media praktikum berhasil menggabungkan ESP32, sensor FC-51, protokol MQTT, HiveMQ Cloud, dan website Laravel dalam satu sistem yang dapat secara otomatis melakukan pengukuran, perhitungan, pengiriman, dan penyimpanan data praktikum. Pembelajaran fisik dengan integrasi ini menjadi lebih efisien, interaktif, dan terdokumentasi secara digital.

## IV. KESIMPULAN

Dengan menggunakan protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), penelitian ini berhasil mengembangkan media praktikum momentum dan tumbukan yang berbasis Internet of Things (IoT). Protokol MQTT memungkinkan perangkat ESP32 dan website berbasis Laravel berkomunikasi dengan data. Sistem yang dikembangkan menggunakan empat sensor FC-51 untuk mengukur kecepatan awal, kecepatan akhir, momentum awal, dan momentum akhir. Selain itu, melalui koneksi SSL/TLS dengan broker HiveMQ Cloud, hasil pengukuran dikirim ke website secara real-time. Semua data praktikum disimpan dengan baik ke dalam basis data, yang membuat pencatatan hasil praktikum lebih mudah dan teratur.

Sistem menunjukkan kinerja yang baik dengan persentase error rata-rata 11,10% terhadap nilai teoritis, menurut hasil pengujian sepuluh kali percobaan pada skenario tumbukan tidak lenting sama sekali. Beberapa variabel, seperti gesekan lintasan, deformasi plastisin saat tumbukan, fitur FC-51, dan variasi dorongan awal mobil, dapat memengaruhi hasil pengukuran. Namun, melalui otomatisasi pengukuran, penyimpanan data digital, dan pemantauan hasil praktikum secara real-time, sistem mampu memberikan hasil pengukuran yang konsisten dan mendukung proses praktikum fisika secara lebih efektif.

Menggunakan sensor beresolusi lebih tinggi, mekanisme peluncur otomatis yang menghasilkan kecepatan awal yang lebih konsisten, dan penambahan jenis praktikum seperti tumbukan lenting sebagian dan tumbukan lenting sempurna akan memungkinkan penelitian lebih lanjut dilakukan pada cakupan materi fisika yang lebih luas.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Informatika Universitas Duta Bangsa Surakarta yang telah memberikan dukungan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan selama proses perancangan, implementasi, hingga penyusunan artikel ilmiah ini. Selain itu, penulis

menyampaikan apresiasi kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses pengujian sistem sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

#### REFERENSI

- A. Ardi, A. Triyono, and T. A. Santosa, "10.61991 THE INFLUENCE OF THE INTERNET OF THINGS IN EDUCATION: META-ANALYSIS," *Indonesia Journal of Engineering and Education Technology (IJEET)*, vol. 1, no. 4, pp. 59–65, 2023.
- R. D. Anjarsari, Y. Tri, S. Utami, and B. R. Kurniawan, "Analisis Pemahaman Konsep Mahasiswa Fisika pada Materi Momentum dan Impuls Menggunakan Aplikasi Socrative," *Jurnal MIPA dan Pembelajarannya*, vol. 2, no. 4, pp. 257–266, 2022.
- S. Humairoh, M. Yakob, N. A. Lubis, and R. A. Putra, "Perancangan Alat Praktikum Berbasis Arduino Untuk Menentukan Waktu Dan Kecepatan Secara Otomatis Pada Gerak Jatuh Bebas," *GRAVITASI: Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, vol. 4, no. 01, pp. 23–32, 2021.
- K. Umam, H. Hartono, and S. Sulhadi, "Pengembangan Alat Praktikum Tumbukan Menggunakan Mikrokontroler, Sensor Ultrasonik, dan Lintasan Air Track," *Physics Education Research Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 85–94, 2021.
- U. W. Agustina and S. Saehana, "Pengembangan media alat praktikum pelayanan gelombang berbasis mikrokontroler arduino uno," *Jurnal Inovasi Dan Pembelajaran Fisika*, vol. 8, no. 2, 2021.
- M. Waruwu, "Metode penelitian dan pengembangan (R&D): konsep, jenis, tahapan dan kelebihan," *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, vol. 9, no. 2, pp. 1220–1230, 2024.
- A. Hanif and R. Amri, "Implementasi Internet Of Things Pada Protokol MQTT Dan HTTP Dalam Sistem Pendeteksi Banjir," *INOVTEK Polbeng-Seri Informatika*, vol. 8, no. 2, pp. 498–501, 2023.
- M. A. S. M. Dzahir and K. S. Chia, "Evaluating the energy consumption of esp32 microcontroller for real-time mqtt monitoring system," in *2023 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)*, IEEE, 2023, pp. 255–261.
- H. Kusuma, M. A. Akbar, T. Suhendra, A. Zuchriadi, and A. K. A. Cintra, "IoT sea level monitoring development and field testing study," *ELECTRON Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 70–77, 2023.
- E. D. Wardihani, E. U. Sari, A. S. N. Helmy, Y. Badruzzaman, A. Nursyahid, and T. A. Setyawan, "Monitoring and controlling of IoT-based greenhouse parameters with the MQTT protocol," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 13, no. 1, 2024.
- M. F. Al-Adhim and G. S. Dewi, "Sistem Monitoring IoT Smart Farm Berbasis Web dengan Integrasi Template Dashboard Bootstrap dan Laravel 10," *COMSERVA J. Penelit. dan Pengabd. Masy.*, vol. 4, no. 7, pp. 1973–1981, 2024.
- M. J. A. Baig, M. T. Iqbal, M. Jamil, and J. Khan, "Design and implementation of an open-Source IoT and blockchain-based peer-to-peer energy trading platform using ESP32-S2, Node-Red and MQTT protocol," *Energy reports*, vol. 7, pp. 5733–5746, 2021.
- D. Margarini, S. W. Suciati, A. Surtono, and G. A. Pauzi, "Rancang Bangun Prototipe Keamanan Ruang Laboratorium dengan Pintu Otomatis Menggunakan Sensor Suhu MLX90614 Berbasis Arduino Atmega 2560," *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, vol. 2, no. 4, pp. 116–124, 2021.
- H. B. Surbakti, J. G. A. Ginting, S. Romadhona, M. B. Ginting, and K. Ni'amah, "Sistem monitoring kualitas udara ruangan dengan protokol MQTT berbasis Internet of Things," *Jurnal SINTA: Sistem Informasi dan Teknologi Komputasi*, vol. 1, no. 3, pp. 129–137, 2024.
- [15] S. Hadi, A. S. Anas, and L. G. R. Putra, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Penggunaan Daya Listrik Berbasis Internet of Things," *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 54–66, 2022.