

Pengembangan Media Praktikum GLBB Berbasis Internet of Things Menggunakan ESP32 dan Sensor Infrared Terintegrasi Web Dashboard

Eka Rizki Suwarno^{1*}, Azis Maulana², Adha Minan Basori³, Rudi Susanto⁴, Triyono⁵

¹Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
^{1*}eka.rizki.mm2021@gmail.com

²Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
²azismaulana2411@gmail.com

³Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
³adha.minan05@gmail.com

⁴Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
⁴rudi_susanto@udb.ac.id

⁵Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
⁵triyono@udb.ac.id

Abstrak— Praktikum Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) yang masih menggunakan stopwatch sebagai alat ukur waktu memiliki keterbatasan akurasi akibat pengaruh waktu reaksi pengamat sehingga berpotensi menimbulkan human error dalam proses pengukuran. Penelitian ini bertujuan mengembangkan media praktikum GLBB berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 dan tiga sensor infrared yang terintegrasi dengan web dashboard untuk meningkatkan efektivitas pengukuran dan pengelolaan data praktikum. Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D) melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi pergerakan benda pada setiap titik pengamatan secara otomatis, menghitung waktu tempuh, kecepatan, dan percepatan, serta menampilkan hasil pengukuran pada LCD dan web dashboard. Pengiriman data dari ESP32 menuju web dashboard berhasil dilakukan secara real-time menggunakan protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT). Hasil pengujian menunjukkan bahwa data pengukuran yang diperoleh sistem memiliki konsistensi yang lebih baik dibandingkan metode manual, terutama pada variasi kecepatan yang tinggi. Perbedaan hasil pengukuran antara sistem dan metode manual dipengaruhi oleh keterbatasan waktu reaksi pengamat saat menggunakan stopwatch, sedangkan sistem mampu mengurangi pengaruh tersebut melalui proses pencatatan otomatis. Selain mendukung proses pengukuran, web dashboard memfasilitasi penyimpanan, pemantauan, dan perbandingan hasil praktikum sesuai hak akses guru dan siswa. Dengan demikian, media praktikum yang dikembangkan mampu mendukung digitalisasi praktikum fisika serta memberikan alternatif pembelajaran yang lebih efektif, terstruktur, dan objektif.

Kata Kunci—ESP32, Gerak Lurus Berubah Beraturan, Internet of Things, MQTT, Media Praktikum, Web Dashboard.

Abstract— The Straight Uniformly Accelerated Motion (SUAM) practicum, which still relies on a stopwatch for time measurement, has limited accuracy due to human reaction time, resulting in measurement errors during the experimental process. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based SUAM practicum media using an ESP32 microcontroller and three infrared sensors integrated with a web dashboard to improve measurement performance and practicum data management. The research employed the Research and Development (R&D) method, consisting of needs analysis, system design, implementation, and testing. The developed system successfully detected object movement at each observation point automatically, calculated travel time, velocity, and acceleration, and displayed the measurement results on both the LCD and the web dashboard. Measurement data were successfully transmitted from the ESP32 to the web dashboard in real time using the Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol. Experimental results indicated that the developed system provided more consistent measurement data than the conventional manual method, particularly at higher object velocities. The differences between the IoT-based and manual measurements were mainly caused by the observer's reaction time when operating the stopwatch, whereas the proposed system minimized this effect through automatic time acquisition. In addition, the web dashboard facilitated data storage, monitoring, and comparison of practicum results based on teacher and student access privileges. Therefore, the proposed practicum media supports the digitalization of physics laboratory activities and provides a more effective, structured, and objective alternative for learning straight uniformly accelerated motion.

Keywords— ESP32, Internet of Things, Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), Practicum Media, Straight Uniformly Accelerated Motion (SUAM), Web Dashboard.

I. PENDAHULUAN

Praktikum merupakan salah satu komponen penting dalam pembelajaran fisika karena memberikan pengalaman belajar yang memungkinkan peserta didik mengamati, mengukur, dan membuktikan konsep-konsep fisika secara langsung [1]. Pada materi Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB), kegiatan praktikum berperan dalam membantu peserta didik memahami hubungan antara jarak, waktu, kecepatan, dan percepatan melalui proses pengamatan yang sistematis [2]. Meskipun demikian, pelaksanaan praktikum GLBB di berbagai sekolah dan perguruan tinggi masih banyak menggunakan metode konvensional dengan stopwatch sebagai alat ukur waktu [3]. Pengukuran secara manual sangat dipengaruhi oleh waktu reaksi pengamat saat memulai maupun menghentikan pencatatan, sehingga hasil yang diperoleh sering menunjukkan perbedaan antar pengamat [3]. Selain menurunkan ketelitian pengukuran, pencatatan data secara manual juga memerlukan waktu lebih lama dan berpotensi menimbulkan kesalahan dalam proses perhitungan maupun dokumentasi hasil praktikum [3], [4]. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa media praktikum GLBB masih memerlukan pengembangan agar mampu menghasilkan data yang lebih akurat, konsisten, dan efisien sehingga dapat meningkatkan kualitas kegiatan praktikum fisika [5].

Berbagai penelitian telah mengembangkan media praktikum GLBB berbasis mikrokontroler untuk meningkatkan akurasi pengukuran waktu dan meminimalkan kesalahan akibat faktor manusia [4], [6]. Penggunaan Arduino yang dipadukan dengan sensor inframerah, photodiode, maupun phototransistor terbukti mampu melakukan pencatatan waktu secara otomatis sehingga proses pengukuran menjadi lebih objektif dibandingkan metode konvensional [3], [4], [6]. Selain itu, pengembangan kit praktikum, alat ukur digital, serta trainer pembelajaran memberikan alternatif media pembelajaran yang lebih interaktif dan mendukung pemahaman konsep gerak lurus berubah beraturan [2], [5], [6]. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih

berfokus pada otomatisasi pengukuran di tingkat perangkat tanpa menyediakan fasilitas penyimpanan maupun pemantauan hasil praktikum secara terintegrasi [6]. Akibatnya, proses dokumentasi data masih dilakukan secara terpisah sehingga kurang mendukung kebutuhan pembelajaran berbasis digital yang menuntut akses informasi secara cepat dan terdokumentasi dengan baik [6].

Perkembangan Internet of Things (IoT) memberikan peluang untuk mengembangkan media praktikum yang tidak hanya mampu melakukan pengukuran secara otomatis, tetapi juga mendukung proses monitoring dan pengelolaan data secara daring [7]. Integrasi konektivitas internet memungkinkan hasil praktikum tersimpan secara digital serta dapat diakses kembali tanpa bergantung pada pencatatan manual [7], [8]. Beberapa penelitian telah memanfaatkan teknologi IoT dalam pembelajaran fisika dan menunjukkan bahwa digitalisasi praktikum mampu meningkatkan efektivitas pembelajaran serta mempermudah proses evaluasi hasil eksperimen [7], [8]. Namun demikian, penelitian yang mengintegrasikan media praktikum GLBB dengan tiga sensor inframerah, mikrokontroler ESP32, dan web dashboard sebagai media monitoring masih relatif terbatas [7], [8], [9]. Sebagian besar penelitian terdahulu belum menggabungkan proses pengukuran otomatis, penyimpanan data, visualisasi hasil, dan monitoring dalam satu sistem yang terintegrasi sehingga peluang pengembangannya masih terbuka [8], [9].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan media praktikum GLBB berbasis Internet of Things menggunakan ESP32 yang dipadukan dengan tiga sensor inframerah sebagai pendeteksi posisi benda pada beberapa titik pengamatan [10]. Sistem yang dikembangkan mampu melakukan pengukuran waktu secara otomatis, menghitung kecepatan dan percepatan berdasarkan data hasil pengukuran, serta menyajikan hasil praktikum melalui web dashboard yang menerima data secara real-time menggunakan protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT). Integrasi tersebut diharapkan dapat meningkatkan

ketelitian pengukuran, mempermudah proses pengamatan, serta mendukung penerapan praktikum fisika berbasis digital. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menawarkan pengembangan pada aspek perangkat pengukuran, tetapi juga menghadirkan sistem praktikum yang mampu mengintegrasikan proses pengukuran dan penyajian hasil dalam satu platform sehingga lebih sesuai dengan kebutuhan laboratorium fisika di era pembelajaran berbasis teknologi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Analisis kebutuhan

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) yang bertujuan mengembangkan media praktikum Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) berbasis Internet of Things (IoT) [7]. Proses pengembangan diawali dengan analisis kebutuhan praktikum GLBB untuk mengidentifikasi permasalahan pada metode pengukuran konvensional. Selanjutnya dilakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak yang disesuaikan dengan kebutuhan sistem, kemudian dilanjutkan dengan proses perakitan, pemrograman, dan integrasi seluruh komponen agar dapat bekerja sebagai satu kesatuan. Setelah sistem berhasil direalisasikan, dilakukan pengujian untuk memperoleh data waktu tempuh, kecepatan, dan percepatan. Data hasil pengujian kemudian dianalisis dengan membandingkan hasil pengukuran sistem terhadap hasil pengukuran manual menggunakan stopwatch untuk mengetahui tingkat akurasi media praktikum yang dikembangkan [3], [6].

B. Perancangan sistem

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perangkat Penelitian

No	Perangkat	Fungsi
1	ESP32	Pengendali utama sistem, pengolah data hasil pengukuran dan komunikasi WiFi.
2	Sensor <i>Infrared</i> (3 buah)	Mendeteksi benda pada titik A, B, dan C.
3	LCD 16x2 I2C	Menampilkan hasil pengukuran secara langsung.

4	Buzzer	Memberikan indikator bahwa proses pengukuran telah selesai.
5	Tombol <i>Reset</i>	Mengembalikan sistem ke kondisi awal.
6	Breadboard	Media perakitan rangkaian elektronik.
7	Kabel Jumper	Menghubungkan antar perangkat elektronik.
8	Powerbank / Adaptor 5 V	Sumber catu daya sistem.
9	Laptop dengan Arduino IDE	Pemrograman dan pengujian sistem.
10	Web Dashboard	Media monitoring dan penyimpanan hasil praktikum.
11	Broker MQTT	Media komunikasi data antara ESP32 dan Web Dashboard

1. Diagram Blok Sistem

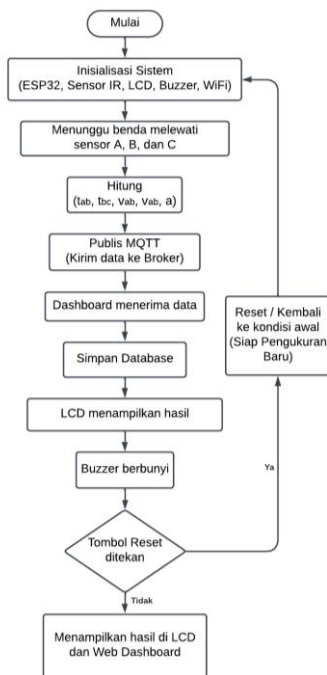
Diagram blok sistem menggambarkan hubungan fungsional antar perangkat yang digunakan pada media praktikum yang ditunjukkan pada Gambar 1. Sensor infrared berperan sebagai masukan yang mendeteksi posisi benda pada setiap titik pengamatan. Sinyal dari sensor diterima oleh ESP32 untuk diproses menjadi informasi waktu tempuh, kemudian digunakan dalam perhitungan kecepatan dan percepatan. Hasil pengolahan ditampilkan pada LCD, sedangkan data hasil pengukuran dikirim oleh ESP32 melalui jaringan WiFi menuju broker MQTT. Selanjutnya broker meneruskan data ke web dashboard untuk disimpan ke basis data dan ditampilkan sesuai hak akses pengguna. Buzzer memberikan tanda bahwa proses pengukuran telah selesai, sedangkan tombol reset digunakan untuk mempersiapkan sistem sebelum pengujian berikutnya.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

2. Flowchart Sistem

Flowchart menggambarkan urutan proses yang dijalankan sistem selama praktikum berlangsung yang ditunjukkan pada Gambar 2. Proses dimulai dengan inisialisasi seluruh perangkat, kemudian sistem berada pada kondisi siap dan menunggu benda melewati Sensor A. Ketika Sensor B dan Sensor C mendeteksi benda, sistem melakukan pencatatan waktu pada setiap titik pengamatan. Berdasarkan data tersebut, sistem menghitung kecepatan rata-rata dan percepatan, kemudian menampilkan hasil pada LCD serta mengirimkannya ke web dashboard. Hasil pengukuran tetap ditampilkan hingga pengguna menekan tombol reset. Setelah tombol reset ditekan, sistem kembali ke kondisi awal dan siap digunakan untuk pengukuran berikutnya.

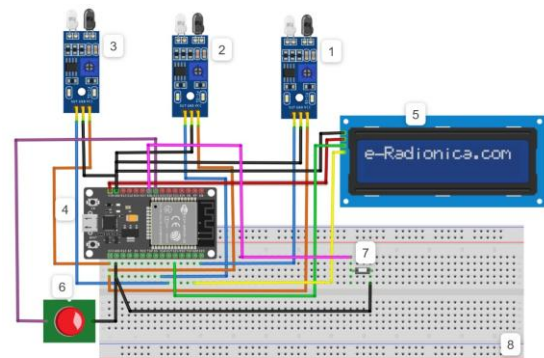


Gambar 2. Flowchart Sistem

3. Desain Pengkabelan

Rangkaian perangkat penelitian disusun sesuai desain perkabelan sehingga setiap komponen dapat saling terhubung dengan baik. Tiga sensor *infrared*(1)-(3) ditempatkan pada titik pengamatan A, B, dan C untuk mendeteksi lintasan benda, sedangkan seluruh proses pengolahan data dilakukan oleh ESP32(4) [10]. LCD 16x2 I2C(5) untuk menampilkan perhitungan, buzzer(6) sebagai indikator, dan adanya tombol reset(7) juga breadboard(8)

sebagai tempat perakitan alat. Desain perkabelan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain Perkabelan Sistem

E. Metode Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja media praktikum dengan membandingkan data yang diperoleh dari sistem terhadap hasil pengukuran manual menggunakan stopwatch. Parameter yang dianalisis meliputi waktu tempuh pada lintasan AB dan BC, kecepatan rata-rata, percepatan, serta selisih kecepatan antara hasil pengukuran sistem dan metode manual. Kecepatan rata-rata dihitung menggunakan Persamaan (1), sedangkan percepatan dihitung menggunakan Persamaan (2). Perbedaan hasil pengukuran antara sistem dan metode manual dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$\left[v = \frac{s}{t} \right] \quad (1)$$

dengan:

- v = kecepatan rata-rata (m/s)
- s = jarak tempuh (m)
- t = waktu tempuh (s)

$$\left[a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \right] \quad (2)$$

dengan:

- a = percepatan (m/s²)
- v_1 = kecepatan awal (m/s)
- v_2 = kecepatan akhir (m/s)
- Δt = selang waktu (s)

$$[\Delta V = |V_{\text{manual}} - V_{\text{IoT}}|] \quad (3)$$

dengan:

- ΔV = selisih kecepatan (cm/s)
- V_{manual} = kecepatan hasil pengukuran manual (cm/s)
- V_{IoT} = kecepatan hasil pengukuran sistem (cm/s)

Data yang diperoleh dari setiap pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengetahui perbedaan nilai antara metode manual dan sistem IoT. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi konsistensi pengukuran pada setiap variasi ketinggian lintasan serta menilai kesesuaian kinerja media praktikum yang dikembangkan.

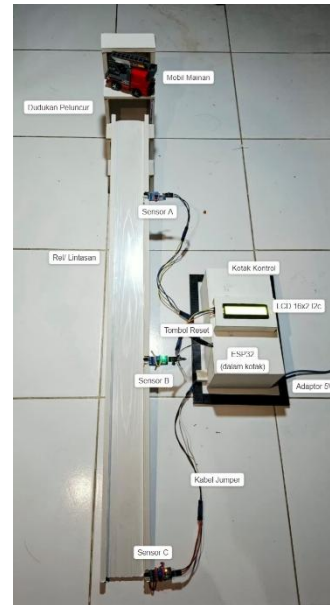
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi

1. Implementasi Media Praktikum

Implementasi media praktikum Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) berbasis Internet of Things (IoT) berhasil direalisasikan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Gambar 4 menunjukkan bentuk fisik media praktikum beserta komponen utama yang digunakan, meliputiudukan peluncur, rel lintasan, tiga sensor infrared pada titik A, B, dan C, kotak kontrol yang berisi ESP32, LCD 16×2 I2C, tombol reset, serta adaptor 5 V sebagai sumber daya sistem. Tata letak sensor pada setiap titik pengamatan memungkinkan proses pengukuran dilakukan secara berurutan sehingga data yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung kecepatan dan percepatan benda selama bergerak pada lintasan. Unit kendali dirancang dalam satu wadah sehingga pengoperasian alat menjadi lebih praktis dan mudah dipindahkan saat kegiatan praktikum. Hasil implementasi menunjukkan bahwa media praktikum dapat digunakan sesuai skenario pengujian yang telah direncanakan, mulai dari pelepasan benda, proses pengukuran pada setiap titik pengamatan, hingga penyajian hasil pengukuran pada sistem. Dengan bentuk yang ringkas, susunan komponen yang terintegrasi, dan mekanisme kerja yang berjalan sesuai perancangan, media praktikum yang dikembangkan memiliki potensi untuk

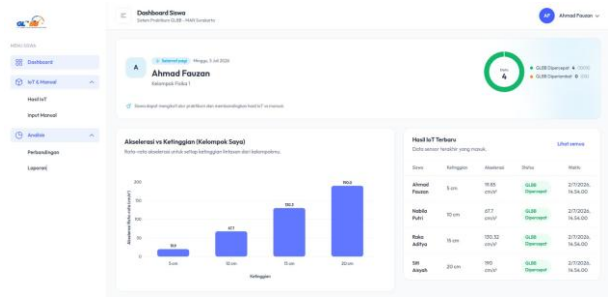
mendukung pelaksanaan praktikum GLBB secara lebih efektif dan efisien dibandingkan metode pengukuran konvensional.



Gambar 4. Implementasi Media Praktikum GLBB Berbasis Internet of Things

2. Implementasi Web Dashboard

Web dashboard dikembangkan sebagai media pendukung untuk mengelola hasil praktikum secara terpusat dengan menerapkan pembagian hak akses antara siswa dan guru. Komunikasi data antara media praktikum dan web dashboard menggunakan protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) sehingga setiap hasil pengukuran dapat dikirim dan diterima secara cepat melalui jaringan internet. Data yang diterima kemudian disimpan ke dalam basis data dan ditampilkan pada dashboard sesuai hak akses masing-masing pengguna. Selain menyajikan hasil praktikum, dashboard juga menyediakan berbagai fitur untuk mendukung proses pengelolaan data, analisis, dan dokumentasi kegiatan praktikum sehingga pelaksanaan praktikum menjadi lebih terstruktur.

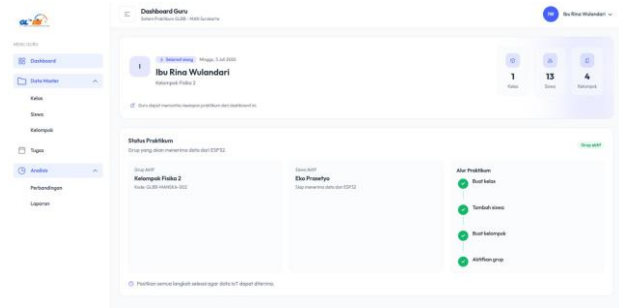


Gambar 5. Tampilan Dashboard Siswa

Dashboard siswa dirancang untuk membantu peserta praktikum dalam mengikuti seluruh tahapan kegiatan praktikum yang ditunjukkan pada Gambar 5, mulai dari melihat hasil pengukuran sistem hingga melakukan perbandingan dengan hasil perhitungan manual. Setiap siswa hanya dapat mengakses data milik kelompoknya sehingga proses praktikum tetap terfokus pada tugas yang telah diberikan. Fitur yang tersedia pada dashboard siswa disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Fitur Dashboard Siswa	
Menu	Fungsi
Dashboard	Menampilkan informasi praktikum, grafik hasil pengukuran kelompok, ringkasan status praktikum, serta data hasil pengukuran terbaru yang diterima dari sistem.
Hasil IoT	Menampilkan data hasil pengukuran yang diperoleh secara otomatis dari media praktikum.
Input Manual	Digunakan untuk memasukkan hasil perhitungan manual yang dilakukan siswa sebagai bahan perbandingan dengan hasil pengukuran sistem.
Perbandingan	Menampilkan hasil perbandingan antara data IoT dan data manual yang hanya dapat diakses oleh kelompok yang bersangkutan.
Laporan	Menyajikan rekapitulasi hasil praktikum kelompok sebagai dokumentasi kegiatan praktikum.

Dashboard guru digunakan untuk mengelola pelaksanaan praktikum secara menyeluruh, mulai dari pengaturan data pengguna hingga pemantauan hasil praktikum seluruh kelompok yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan Dashboard Guru

Melalui dashboard ini, guru dapat mengatur pembagian kelompok, menentukan tugas setiap anggota, serta melihat hasil praktikum sebagai bahan evaluasi pembelajaran. Fitur yang tersedia pada dashboard guru disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Fitur Dashboard Guru	
Menu	Fungsi
Dashboard	Menampilkan informasi umum praktikum, jumlah kelas, jumlah siswa, jumlah kelompok, serta status pelaksanaan praktikum.
Kelas	Digunakan untuk mengelola data kelas melalui proses tambah, ubah, hapus, dan melihat data kelas.
Siswa	Digunakan untuk mengelola data siswa melalui proses tambah, ubah, hapus, dan melihat data siswa.
Kelompok	Digunakan untuk membentuk kelompok praktikum serta mengelompokkan siswa sesuai kebutuhan pelaksanaan praktikum.
Tugas	Digunakan untuk mengatur pembagian tugas setiap anggota kelompok, seperti menjalankan media praktikum atau melakukan perhitungan manual pada setiap variasi ketinggian lintasan.
Perbandingan	Menampilkan hasil perbandingan data IoT dan manual dari seluruh kelompok yang mengikuti praktikum.
Laporan	Menyajikan rekapitulasi seluruh hasil praktikum sebagai bahan monitoring dan evaluasi pembelajaran.

Penerapan dua jenis hak akses tersebut memungkinkan proses praktikum berlangsung lebih sistematis. Siswa difokuskan pada pelaksanaan eksperimen dan analisis data kelompoknya, sedangkan guru memperoleh fasilitas untuk mengelola peserta praktikum, mengatur pembagian tugas, serta memantau perkembangan seluruh kelompok dalam satu platform. Dengan demikian, pengelolaan data menjadi lebih efisien, terdokumentasi dengan baik, dan mendukung proses evaluasi praktikum secara berkelanjutan.

B. Pengujian

1. Hasil Pengujian Sistem

Kinerja media praktikum dievaluasi melalui serangkaian pengujian dengan membandingkan data yang diperoleh dari sistem terhadap hasil pengukuran manual menggunakan stopwatch. Pengujian dilakukan pada empat variasi

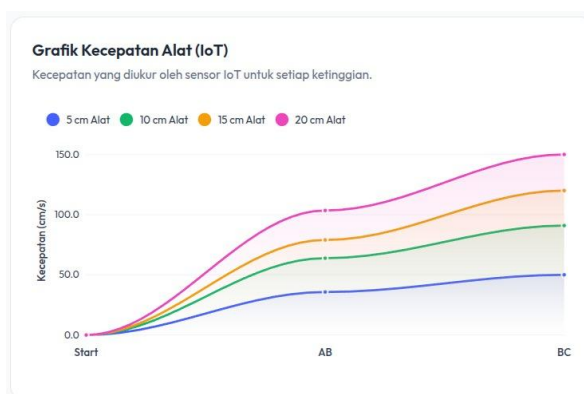
ketinggian lintasan, yaitu 5 cm, 10 cm, 15 cm, dan 20 cm. Parameter yang dianalisis meliputi waktu tempuh pada lintasan AB dan BC, kecepatan rata-rata pada setiap lintasan, serta selisih kecepatan (ΔV) antara sistem dan metode manual. Rekapitulasi hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem

No	Tinggi (cm)	Waktu Alat (s)		Kecepatan Alat (cm/s)		Waktu Manual (s)		Kecepatan Manual (cm/s)		Selisih (cm/s)	
		AB	BC	V1	V2	AB	BC	V1	V2	V1	V2
1	5	0.84	0.60	35.71	50.00	0.73	0.66	41.10	45.45	5.39	4.55
2	10	0.47	0.33	63.83	90.91	0.40	0.20	75.00	150.00	11.17	59.09
3	15	0.38	0.25	78.95	120.00	0.27	0.26	111.11	115.38	32.16	4.62
4	20	0.29	0.20	103.45	150.00	0.14	0.27	214.29	111.11	110.84	38.89

2. Analisis Hasil Pengujian

Grafik pada Gambar 7 menunjukkan hubungan antara kecepatan hasil pengukuran sistem terhadap variasi ketinggian lintasan. Terlihat bahwa kecepatan benda mengalami peningkatan dari segmen AB menuju BC pada seluruh variasi pengujian. Kenaikan tersebut semakin besar seiring bertambahnya ketinggian awal lintasan, di mana pengujian pada ketinggian 20 cm menghasilkan kecepatan tertinggi dibandingkan variasi lainnya. Pola perubahan yang relatif seragam pada setiap kurva menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan data yang konsisten sehingga karakteristik gerak benda pada lintasan dapat direpresentasikan dengan baik.



Gambar 7. Grafik Kecepatan Hasil Pengukuran Sistem IoT

Grafik pada Gambar 8 memperlihatkan hasil pengukuran menggunakan metode manual. Secara umum, kecenderungan peningkatan kecepatan

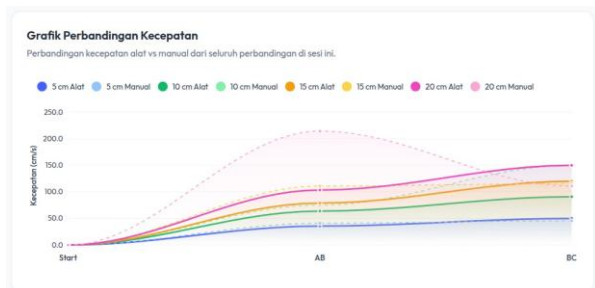
masih mengikuti karakteristik gerak GLBB, namun beberapa kurva menunjukkan perubahan yang cukup signifikan, terutama pada variasi ketinggian 20 cm. Kondisi tersebut terjadi karena waktu tempuh benda menjadi semakin singkat sehingga pencatatan menggunakan stopwatch sangat dipengaruhi oleh waktu reaksi pengamat. Perbedaan yang sangat kecil pada waktu pencatatan dapat menghasilkan perubahan nilai kecepatan yang cukup besar setelah dilakukan perhitungan, sehingga data manual cenderung memiliki variasi yang lebih tinggi dibandingkan data hasil pengukuran sistem.



Gambar 8. Grafik Kecepatan Hasil Pengukuran Manual

Perbandingan kedua metode pengukuran ditunjukkan pada Gambar 9. Secara umum, pola perubahan kecepatan yang dihasilkan sistem memiliki kecenderungan yang serupa dengan hasil pengukuran manual, terutama pada variasi

ketinggian 5 cm hingga 15 cm. Perbedaan mulai terlihat pada ketinggian 20 cm, di mana kurva hasil pengukuran manual menunjukkan lonjakan kecepatan pada segmen AB yang lebih tinggi dibandingkan sistem. Fenomena ini disebabkan oleh semakin singkatnya waktu tempuh benda sehingga pencatatan manual menjadi lebih sensitif terhadap keterlambatan respons pengamat ketika menekan stopwatch. Sebaliknya, sistem melakukan pencatatan secara otomatis setiap kali benda melewati sensor sehingga mampu menghasilkan data yang lebih stabil dan konsisten. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan sistem berbasis IoT dapat mengurangi pengaruh human error dalam proses pengukuran, khususnya pada percobaan dengan laju gerak yang relatif tinggi.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Kecepatan Hasil Pengukuran Sistem IoT dan Manual

3. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa media praktikum GLBB berbasis Internet of Things yang dikembangkan mampu mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak dalam satu sistem yang saling terhubung. Integrasi antara tiga sensor infrared, ESP32, LCD 16×2 I2C, buzzer, serta web dashboard melalui protokol MQTT memungkinkan proses pengukuran berlangsung secara otomatis mulai dari pencatatan waktu, perhitungan kecepatan, hingga penyajian hasil kepada pengguna. Mekanisme komunikasi tersebut membuat data hasil pengukuran dapat dikirim secara real-time menuju web dashboard tanpa memerlukan pencatatan secara manual, sehingga proses praktikum menjadi lebih efisien dan terdokumentasi dengan baik.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu menghasilkan data yang konsisten pada setiap variasi ketinggian lintasan. Perbedaan nilai antara

hasil pengukuran sistem dan metode manual cenderung meningkat ketika kecepatan benda semakin tinggi. Kondisi tersebut bukan disebabkan oleh ketidakstabilan sistem, melainkan dipengaruhi oleh keterbatasan waktu reaksi pengamat saat menggunakan stopwatch. Semakin singkat waktu tempuh benda, semakin besar pengaruh keterlambatan pencatatan terhadap hasil perhitungan kecepatan. Sebaliknya, sistem melakukan pencatatan secara otomatis ketika benda melewati setiap sensor sehingga waktu yang diperoleh memiliki tingkat konsistensi yang lebih baik dan mampu mengurangi pengaruh human error selama praktikum berlangsung.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, pengembangan media praktikum ini memiliki beberapa keunggulan. Penelitian sebelumnya umumnya berfokus pada pembuatan alat ukur otomatis menggunakan mikrokontroler atau pengembangan media praktikum berbasis Arduino, sedangkan hasil pengukuran masih ditampilkan secara lokal dan belum mendukung pengelolaan data praktikum secara terintegrasi. Beberapa penelitian telah menerapkan konsep IoT dalam pembelajaran fisika, namun masih terbatas pada proses pemantauan hasil pengukuran. Penelitian ini mengembangkan sistem yang tidak hanya melakukan pengukuran secara otomatis, tetapi juga mengintegrasikan komunikasi data menggunakan protokol MQTT, penyimpanan data melalui web dashboard, pembagian hak akses antara guru dan siswa, serta fasilitas perbandingan antara hasil pengukuran sistem dan metode manual. Integrasi tersebut menjadi nilai tambah yang mendukung pelaksanaan praktikum secara lebih terstruktur sekaligus mempermudah proses monitoring dan evaluasi hasil praktikum.

Penerapan web dashboard turut memberikan manfaat bagi pelaksanaan praktikum di lingkungan sekolah. Siswa dapat memperoleh hasil pengukuran secara langsung, memasukkan hasil perhitungan manual, serta membandingkan kedua metode pengukuran melalui akun kelompok masing-masing. Di sisi lain, guru dapat mengelola kelas, membentuk kelompok, mengatur pembagian tugas praktikum, serta memantau seluruh hasil percobaan dalam satu

platform. Seluruh data praktikum tersimpan secara digital sehingga memudahkan proses dokumentasi maupun evaluasi pembelajaran. Dengan demikian, media praktikum yang dikembangkan tidak hanya meningkatkan ketelitian proses pengukuran GLBB, tetapi juga mendukung digitalisasi kegiatan praktikum fisika melalui pemanfaatan teknologi IoT dan web dashboard secara terpadu.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan media praktikum Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) berbasis Internet of Things menggunakan ESP32 dan tiga sensor infrared yang terintegrasi dengan web dashboard. Sistem mampu melakukan pengukuran waktu tempuh secara otomatis pada setiap titik pengamatan, menghitung kecepatan berdasarkan hasil pengukuran, serta mengirimkan data secara real-time menggunakan protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) menuju web dashboard untuk proses penyimpanan dan monitoring. Hasil pengujian menunjukkan bahwa media praktikum dapat bekerja sesuai dengan rancangan, ditunjukkan oleh kemampuan sistem dalam menghasilkan data pengukuran yang konsisten pada setiap variasi ketinggian lintasan. Perbandingan dengan metode manual memperlihatkan bahwa perbedaan nilai pengukuran cenderung meningkat pada kecepatan yang lebih tinggi akibat keterbatasan waktu reaksi pengamat saat menggunakan stopwatch, sedangkan sistem mampu mengurangi pengaruh human error melalui proses pencatatan otomatis. Selain mendukung pengukuran, web dashboard juga memfasilitasi pengelolaan data praktikum melalui hak akses yang berbeda bagi guru dan siswa sehingga proses pelaksanaan, pemantauan, dan evaluasi praktikum dapat dilakukan secara lebih terstruktur. Dengan demikian, media praktikum yang dikembangkan tidak hanya meningkatkan efisiensi dan objektivitas proses pengukuran GLBB, tetapi juga mendukung digitalisasi kegiatan praktikum fisika melalui integrasi perangkat IoT dan web dashboard dalam satu sistem yang terpadu.

Saran untuk pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan variasi parameter pengujian, seperti perubahan sudut kemiringan lintasan atau penggunaan lebih banyak titik pengukuran untuk memperoleh data gerak yang lebih rinci. Selain itu, web dashboard dapat dikembangkan dengan fitur analisis statistik, visualisasi grafik yang lebih interaktif, serta ekspor laporan praktikum secara otomatis. Penerapan sistem pada mata pelajaran atau materi fisika lainnya juga dapat menjadi alternatif pengembangan sehingga media praktikum berbasis IoT ini memiliki cakupan pemanfaatan yang lebih luas dalam mendukung pembelajaran di sekolah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Duta Bangsa Surakarta yang telah memberikan dukungan dalam proses pembelajaran dan pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, serta kontribusi dalam proses perancangan, pengembangan, pengujian sistem, dan penyusunan artikel ilmiah ini. Dukungan dan kerja sama dari berbagai pihak tersebut sangat membantu sehingga penelitian mengenai media praktikum Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) berbasis Internet of Things ini dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- [1] I. G. Ngurah and Y. Handayana, "PENDALAMAN KONSEP FISIKA MENGGUNAKAN ALAT PERAGA BERBASIS MIKROKONTROLER PADA SISWA SMA," vol. 4, no. November, pp. 491–495, 2020.
- [2] D. Kurniawan and I. Sucahyo, "PERANCANGAN KIT PERCOBAAN GERAK LURUS BERUBAH BERATURAN PADA BIDANG MIRING," vol. 04, pp. 84–88, 2015.
- [3] L. R. Supriyatna, "ANALISIS KEAKURATAN SENSOR INFRAMERAH DAN STOPWATCH PADA PRAKTIK GLB DAN GLBB," vol. 2, no. 1, pp. 69–78, 2021.
- [4] E. S. K. Istiqomah, Yusro Al Hakim, "GERAK LURUS BERBASIS ARDUINO UNO: ALAT PERAGA FISIKA ALTERNATIF MENGGUNAKAN LINEAR AIR TRACK," vol. 1, no. 3, pp. 85–91, 2020.
- [5] L. MAULA, "PENGEMBANGAN ALAT PERAGA GERAK LURUS BERUBAH BERATURAN BERBASIS TIMER OTOMATIS UNTUK MENINGKATKAN PEMAHAMAN KONSEP PESERTA DIDIK DI SMA NEGERI 1 KETANGGUNAN," 2022.
- [6] D. T. Vionanda Sheila Deesera, Ilhamsyah, "RANCANG BANGUN ALAT UKUR GERAK LURUS BERUBAH BERATURAN (GLBB) PADA BIDANG MIRING BERBASIS ARDUINO," vol. 05, no. 2, pp. 47–56, 2017.

- [7] M. Islamiah and F. Sarnita, "Pemanfaatan IoT (Internet Of Things) Untuk Praktikum IPA Pada Materi Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) Dalam Pembelajaran Daring Selama Pandemi Covid-19," vol. 7, no. 4, pp. 350–354, 2021.
- [8] R. E. Adinagoro, R. Aditya, A. Putra, R. Laksono, and R. Susanto, "Perancangan E-Kalfisika Dalam Pembelajaran Fisika Secara Digital," vol. 3, no. 1, 2024.
- [9] L. A. Shiddiq Kalamurrahmaan, Arif Hidayat, Dedi Sasmita, "Rancang Bangun Modul Elektronik Gerak Lurus Beraturan (GLB) dan Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) SMP Berbasis Masalah," vol. 7, no. 3, pp. 1690–1698, 2024.
- [10] D. R. Ivan Adi Permana Putra, "RANCANG BANGUN TRAINER VARIASI KECEPATAN AWAL PADA GERAK LURUS BERUBAH BERATURAN MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK Hc-Sr04," 2018