

PENGEMBANGAN DRAG METER BERBASIS IOT UNTUK PENGUKURAN KINERJA AKSELERASI KENDARAAN MENGGUNAKAN ESP32

DEVELOPMENT OF AN IOT-BASED DRAG METER FOR VEHICLE ACCELERATION PERFORMANCE MEASUREMENT USING ESP32

Afrizal^{1*}, Muhamad Iradat Achmad², Arif Syam³

^{1,2,3}Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Dayanu Ikhsanuddin

* Korespondensi: aaffrizal26@gmail.com

diajukan: 10 Juli 2026,

diterima: 3 Agustus 2026.

Abstract

The development of automotive technology demands vehicle performance measurement tools that are not only accurate but also affordable and easy to use, particularly for measuring acceleration performance in competition vehicles. Commercially available drag meter devices generally offer high accuracy but are expensive, impractical in size, and difficult to access for students, researchers, or small-scale racing teams. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based vehicle acceleration performance measurement system (drag meter) using an ESP32 microcontroller as a more affordable and portable alternative. The system is designed as two separate units, namely the start unit and the finish unit, each equipped with a Light Dependent Resistor (LDR) sensor combined with a laser diode module using the light barrier method to detect vehicles, a LoRa E220-400T22D communication module for wireless data exchange between units, and Bluetooth Low Energy (BLE) connectivity to display measurement results in real time on a mobile application. The program on both units was designed using a state machine concept with an automatic sensor threshold calibration mechanism, as well as an acknowledgment and retry mechanism on LoRa communication to maintain data reliability. Testing was conducted on a 200-meter straight track, covering functional testing of the LDR sensor, LoRa data communication testing, time measurement accuracy testing, and Bluetooth connectivity testing. The results show that the LDR sensor reliably detects vehicles under various lighting conditions without false detection, LoRa communication remains reliable up to 250 meters, Bluetooth connectivity remains stable up to 5 meters, and the system produces travel-time measurements with an average error of 3.58% compared to a digital stopwatch, corresponding to an accuracy of 96.42%. Thus, the developed system proves capable of providing an accurate, efficient, portable, and low-cost solution for vehicle acceleration measurement as an alternative to commercial drag meter devices.

Keywords: Drag Meter, Internet of Things, ESP32, LoRa, LDR Sensor, Bluetooth Low Energy.

Abstrak

Perkembangan teknologi otomotif menuntut tersedianya alat ukur performa kendaraan yang tidak hanya akurat, tetapi juga terjangkau dan mudah digunakan, khususnya dalam pengujian kinerja akselerasi pada kendaraan kompetisi. Perangkat drag meter komersial yang beredar saat ini umumnya memiliki akurasi tinggi namun berharga mahal, berukuran kurang praktis, dan sulit diakses oleh mahasiswa, peneliti, maupun tim balap skala kecil. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem pengukur kinerja akselerasi kendaraan (drag meter) berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai solusi alternatif yang lebih terjangkau dan portabel. Sistem dirancang dalam dua unit terpisah, yaitu unit start dan unit finish, yang masing-masing dilengkapi sensor Light Dependent Resistor (LDR) dipadukan dengan modul diode laser sebagai metode penghalang cahaya (light barrier method) untuk mendeteksi kendaraan, modul komunikasi LoRa E220-400T22D untuk pertukaran data antar unit secara nirkabel, serta konektivitas Bluetooth Low Energy (BLE) untuk menampilkan hasil pengukuran secara real-time pada aplikasi perangkat mobile. Program pada kedua unit dirancang menggunakan konsep mesin status (state machine) dengan mekanisme kalibrasi ambang batas sensor secara otomatis serta mekanisme acknowledgment dan pengiriman ulang (retry) pada komunikasi LoRa untuk menjaga keandalan data. Pengujian dilakukan pada lintasan lurus sepanjang 200 meter meliputi pengujian fungsional sensor LDR, pengujian komunikasi data LoRa, pengujian akurasi pengukuran waktu, dan pengujian konektivitas Bluetooth. Hasil pengujian menunjukkan

bahwa sensor LDR mampu mendeteksi kendaraan secara stabil pada berbagai kondisi pencahayaan tanpa deteksi palsu, komunikasi LoRa dapat diandalkan hingga jarak 250 meter, konektivitas Bluetooth stabil hingga jarak 5 meter, serta sistem menghasilkan pengukuran waktu tempuh dengan rata-rata error 3,58% terhadap stopwatch digital, atau tingkat akurasi 96,42%. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan terbukti mampu memberikan solusi pengukuran akselerasi kendaraan yang akurat, efisien, portabel, dan berbiaya rendah sebagai alternatif perangkat drag meter komersial.

Kata kunci: Drag Meter, Internet of Things, ESP32, LoRa, Sensor LDR, Bluetooth Low Energy.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomotif saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat, tidak hanya pada aspek kenyamanan, desain, dan efisiensi bahan bakar, tetapi juga pada sistem pengukuran dan analisis performa kendaraan. Salah satu parameter penting dalam evaluasi performa kendaraan adalah kinerja akselerasi, yang menggambarkan kemampuan kendaraan dalam meningkatkan kecepatan dalam rentang waktu dan jarak tertentu. Pengukuran akselerasi kendaraan banyak digunakan dalam bidang rekayasa otomotif, olahraga balap, pengujian kendaraan, serta modifikasi mesin (Rajamani, 2012).

Pada praktiknya, pengukuran kinerja akselerasi kendaraan umumnya dilakukan menggunakan perangkat drag meter komersial atau sistem pengujian khusus yang memiliki tingkat akurasi tinggi. Namun, perangkat tersebut memiliki beberapa keterbatasan, antara lain harga yang relatif mahal, ukuran yang kurang praktis, serta keterbatasan akses bagi mahasiswa dan peneliti (Martucci et al., 2020). Kondisi ini menimbulkan kebutuhan akan solusi alternatif berupa alat pengukur akselerasi kendaraan yang lebih terjangkau, portabel, dan mudah digunakan.

Seiring berkembangnya teknologi Internet of Things (IoT), muncul peluang untuk mengembangkan sistem pengukuran performa kendaraan berbasis perangkat tertanam yang dapat terhubung ke jaringan dan perangkat lain secara real-time. IoT memungkinkan perangkat untuk mengumpulkan, mengolah, dan mengirimkan data secara otomatis melalui komunikasi nirkabel, sehingga data pengukuran dapat diakses dengan mudah melalui perangkat mobile (Berte, 2018). Mikrokontroler ESP32 dipilih sebagai pusat kendali sistem karena memiliki kemampuan pemrosesan yang tinggi, konsumsi daya rendah, serta dukungan komunikasi WiFi dan Bluetooth yang terintegrasi, sehingga sangat sesuai untuk diterapkan pada sistem pengukur kinerja akselerasi kendaraan (Anggara dkk., 2021).

Penelitian terkait alat pengukur kecepatan kendaraan telah banyak dilakukan sebelumnya dengan berbagai macam sensor dan sistem pengendali. Penelitian mengenai implementasi IoT pada monitoring kecepatan kendaraan bermotor menunjukkan bahwa akurasi alat sangat dipengaruhi oleh kondisi jalan dan konektivitas internet pada saat pengujian dilakukan (Darmawan, 2020). Penelitian lain mengenai pengukuran kecepatan kendaraan berbasis mikrokontroler Arduino Uno menunjukkan bahwa alat uji yang dirancang belum bekerja secara optimal pada seluruh percobaan yang dilakukan (Gede Indra Perdana dkk., 2022). Selain itu, penelitian mengenai rancang bangun sistem pengukur kecepatan kendaraan menggunakan sensor magnetik GMR menunjukkan bahwa jarak antar sensor turut memengaruhi respons sistem terhadap kecepatan kendaraan yang diukur (Ramdhani dkk., 2017). Penelitian mengenai pengukur kecepatan kendaraan menggunakan algoritma image subtracting juga menunjukkan bahwa metode berbasis pengolahan citra dapat mendeteksi objek dengan baik namun rentan terhadap variasi kondisi pencahayaan dan memerlukan sumber daya komputasi yang lebih besar (Satura dkk., 2021).

Berbeda dengan penelitian-penelitian tersebut yang kebanyakan menggunakan sensor ultrasonik, magnetik, efek Hall, maupun pengolahan citra dengan pengendali berbasis ATmega atau Arduino, penelitian ini menggunakan sensor Light Dependent Resistor (LDR) yang dipadukan dengan modul diode laser sebagai metode penghalang cahaya (light barrier method), dengan pengendali ESP32 yang hasil pengukurannya dikirimkan secara nirkabel melalui modul

LoRa antar unit start dan finish, kemudian ditampilkan pada aplikasi perangkat mobile melalui komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE). Pemilihan sensor LDR dan laser didasarkan pada kemampuannya memberikan waktu respons yang presisi pada momen kendaraan melintasi garis pengukuran, dibandingkan metode berbasis pengolahan citra atau sensor jarak yang lebih rentan terhadap gangguan lingkungan (Nuryaman dkk., 2017).

Komunikasi data antar unit yang saling berjauhan pada lintasan balap merupakan tantangan tersendiri, mengingat modul radio frekuensi seperti LoRa bekerja secara half-duplex dan tidak memiliki jaminan bawaan bahwa setiap paket data pasti diterima oleh unit lawan. Penerapan teknologi Long Range (LoRa) dinilai efektif menyediakan media transmisi data jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah (Setiadi & Mahfudi, t.t.), namun tetap memerlukan mekanisme tambahan seperti acknowledgment dan retry otomatis agar data sinkronisasi waktu dan penanda keberangkatan kendaraan tidak hilang akibat gangguan sinyal.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem pengukur kinerja akselerasi kendaraan (drag meter) berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan komunikasi nirkabel ke perangkat mobile. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi praktis dalam pengukuran performa akselerasi kendaraan, khususnya pada konteks kendaraan kompetisi, dengan memanfaatkan teknologi IoT untuk memperoleh data pengukuran yang akurat dan real-time, sehingga dapat diterapkan oleh berbagai kalangan seperti tim balap skala kecil, komunitas otomotif, maupun peneliti tanpa ketergantungan pada alat ukur komersial yang berbiaya tinggi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih tiga bulan, yakni mulai dari bulan Maret 2026 sampai dengan bulan Mei 2026. Tempat penelitian dilakukan di Jl. Takawa, Kabupaten Buton, Pasarwajo, pada lintasan lurus sepanjang 200 meter yang digunakan sebagai lintasan pengujian sistem.

2.2 Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

2.2.1 Observasi

Metode pengumpulan data dilakukan dengan melihat objek penelitian secara langsung di lokasi pengujian, untuk mengamati kondisi lintasan, menentukan titik penempatan unit start dan unit finish, serta menyesuaikan desain sistem dengan kondisi lapangan.

2.2.2 Studi Pustaka

Metode pustaka dilakukan dengan cara mengumpulkan data dan informasi yang berkaitan dengan penelitian melalui jurnal, buku, literatur, browsing internet, dan bacaan lainnya yang relevan dengan topik penelitian.

Analisis data dilakukan setelah seluruh data terkumpul melalui kedua metode tersebut, mencakup analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak, analisis rancangan sistem, serta analisis hasil pengujian yang dibandingkan dengan alat ukur referensi berupa stopwatch digital.

2.3 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam merancang dan membangun sistem pengukur kinerja akselerasi kendaraan berbasis IoT ini diperlukan perangkat keras (hardware), perangkat lunak (software), serta alat dan bahan sebagai berikut.

2.3.1 Perangkat Keras (Hardware)

- Motor balap kompetisi sebagai objek uji
- Mikrokontroler ESP32 (2 unit — Unit Start dan Unit Finish)
- Sensor LDR (Light Dependent Resistor)
- Modul diode laser sebagai sumber pemancar cahaya
- Resistor 10k Ω untuk rangkaian pembagi tegangan sensor LDR
- Resistor 100 Ω untuk rangkaian pembatas arus LED indikator
- Modul LoRa E220-400T22D berbasis chip Semtech LLCC68
- Baterai Lithium-ion (Li-ion) 2000mAh sebagai catu daya
- LED indikator (biru dan merah)
- Switch saklar power
- Smartphone/perangkat mobile untuk aplikasi berbasis Bluetooth Low Energy
- Laptop untuk pemrograman dan pengujian

2.3.1 Perangkat Lunak (Software)

- PlatformIO IDE sebagai lingkungan pengembangan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler ESP32
- Bahasa pemrograman C/C++
- Aplikasi mobile berbasis Bluetooth Low Energy (BLE) untuk menampilkan hasil pengukuran

2.4 Rancangan Sistem Secara Umum

2.4.1 Layout Sistem pada Lingkungan Penerapan

Layout sistem dirancang untuk diaplikasikan pada lintasan lurus dengan jarak tertentu, misalnya 100 hingga 200 meter sesuai kebutuhan pengujian. Unit start ditempatkan pada garis awal lintasan dan berfungsi sebagai pendeteksi awal pergerakan kendaraan, sedangkan unit finish ditempatkan pada garis akhir lintasan untuk mendeteksi kendaraan saat mencapai titik akhir. Perangkat mobile digunakan oleh operator untuk memantau hasil pengukuran dan dapat ditempatkan di area yang aman di sekitar lintasan. Komunikasi antar unit dilakukan secara nirkabel sehingga tidak memerlukan kabel penghubung sepanjang lintasan yang dapat mengganggu proses pengujian.

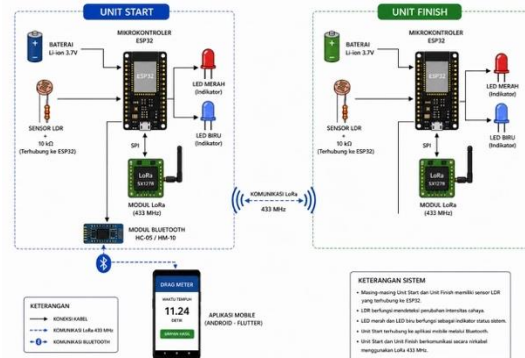


Gambar 1. Layout Sistem pada Lingkungan Penerapan

2.4.2 Blok Diagram Sistem

Diagram blok sistem menggambarkan hubungan fungsional antara komponen utama dalam sistem. Sensor LDR berperan sebagai perangkat input yang mendeteksi keberadaan kendaraan pada masing-masing titik pengukuran (start dan finish). Data dari sensor dibaca oleh mikrokontroler ESP32 melalui pin analog (ADC) untuk diproses. ESP32 kemudian melakukan perhitungan waktu tempuh berdasarkan sinyal dari unit start dan unit finish. Modul LoRa digunakan untuk mengirimkan data secara nirkabel antar kedua unit, sedangkan komunikasi ke perangkat mobile dilakukan melalui Bluetooth Low Energy (BLE) yang terintegrasi pada ESP32.

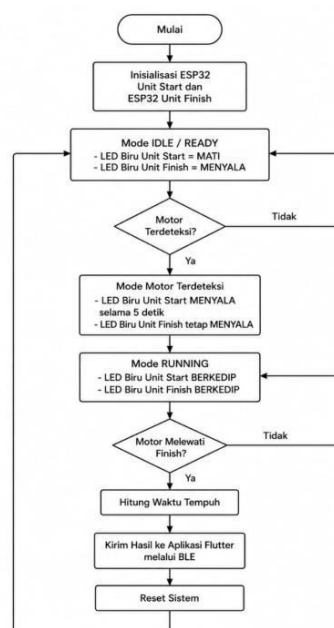
Sistem catu daya menggunakan baterai Lithium-ion (Li-ion) 2000mAh yang terhubung langsung ke seluruh komponen pada masing-masing unit.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

2.4.3 Diagram Alir (Flowchart) Sistem

Rancangan sistem diawali dengan proses inialisasi, di mana mikrokontroler ESP32 melakukan pengaturan awal terhadap seluruh komponen sistem, termasuk sensor pengukur, modul komunikasi nirkabel, serta parameter pengukuran. Setelah proses inialisasi selesai, sistem berada pada kondisi IDLE (siaga) dan menunggu kendaraan memasuki area sensor start. Ketika sensor LDR pada unit start mendeteksi keberadaan kendaraan secara stabil, sistem memasuki fase MOTOR_MASUK selama lima detik sebagai waktu persiapan sekaligus mengirimkan perintah ARM ke unit finish agar bersiap melakukan pengukuran. Setelah fase persiapan selesai, sistem berpindah ke kondisi READY dan menunggu kendaraan meninggalkan titik start. Begitu kendaraan berangkat, sistem mengirimkan perintah START yang membawa data waktu virtual keberangkatan ke unit finish, dan sistem berpindah ke kondisi RUNNING hingga hasil pengukuran diterima dari unit finish. Hasil pengolahan data kemudian dikirimkan secara nirkabel ke perangkat mobile melalui BLE dan ditampilkan secara real-time kepada pengguna, sebelum sistem kembali ke kondisi siaga untuk pengujian berikutnya.



Gambar 3. Flowchart Diagram Alir Sistem

2.4.4 Konfigurasi Pin Mikrokontroler

Konfigurasi pin pada mikrokontroler ESP32 dirancang secara sistematis untuk mendukung komunikasi antara sensor LDR dan modul komunikasi nirkabel LoRa secara optimal pada masing-masing unit. Sensor LDR dihubungkan pada pin masukan analog (ADC), yaitu GPIO 34 pada unit start dan GPIO 27 pada unit finish, melalui rangkaian pembagi tegangan bersama resistor 10kΩ. Modul LoRa dikonfigurasi menggunakan jalur komunikasi serial UART2 (Serial2) pada ESP32, dengan pin GPIO 33 sebagai jalur penerimaan data (RX) dan GPIO 32 sebagai jalur pengiriman data (TX). Selain itu, terdapat dua LED indikator pada masing-masing unit, yaitu LED biru pada GPIO 16 yang menunjukkan status deteksi kendaraan/kesiapan sistem (armed), dan LED merah pada GPIO 14 yang menunjukkan status koneksi komunikasi LoRa antar unit.

Unit Start (ESP32 Start)			Unit Finish (ESP32 Finish)		
Komponen	Pin Modul	Terhubung ke ESP32	Komponen	Pin Modul	Terhubung ke ESP32
Sensor Start (LDR Analog)	VCC	5V	Sensor Finish (LDR Analog)	VCC	5V
	GND	GND		GND	GND
	OUT (Analog)	GPIO 34		OUT (Analog)	GPIO 34
Modul LoRa (Serial)	VCC	3.3V	Modul LoRa (Serial)	VCC	3.3V
	GND	GND		GND	GND
	TX	GPIO 33 (RX2)		TX	GPIO 33 (RX2)
	RX	GPIO 32 (TX2)		RX	GPIO 32 (TX2)
LED Indikator	Biru	GPIO 16	LED Indikator	Biru	GPIO 16
	Merah	GPIO 14		Merah	GPIO 14

Gambar 4. Pin Mapping ESP32 (Unit Start dan Unit Finish)

Konfigurasi pin tersebut secara ringkas juga disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 1.

Tabel 1. Konfigurasi Pin Mikrokontroler ESP32

Komponen	Pin ESP32	Fungsi
Sensor LDR (Start)	GPIO 34 (ADC)	Deteksi kendaraan titik start
Sensor LDR (Finish)	GPIO 27 (ADC)	Deteksi kendaraan titik finish
Modul LoRa TX/RX	GPIO 32 / GPIO 33 (Serial2)	Komunikasi antar unit
LED Biru	GPIO 16	Indikator status/armed
LED Merah	GPIO 14	Indikator koneksi LoRa

2.5 Metode Pengujian Sistem

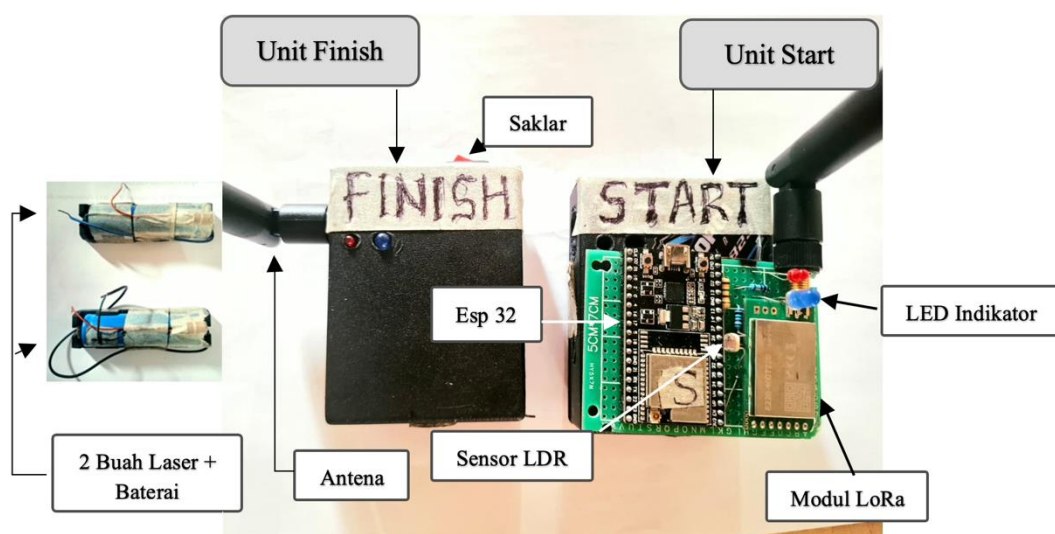
Metode pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja alat pengukur waktu tempuh kendaraan (drag meter) yang telah dirancang, guna memastikan bahwa seluruh komponen sistem baik perangkat keras maupun perangkat lunak dapat bekerja sesuai fungsi yang direncanakan. Pengujian dilakukan secara bertahap meliputi pengujian fungsional sensor LDR pada berbagai kondisi pencahayaan, pengujian komunikasi data LoRa pada berbagai jarak untuk mengevaluasi keberhasilan transmisi dan jumlah pengiriman ulang (retry), pengujian akurasi pengukuran waktu dengan membandingkan hasil sistem terhadap stopwatch digital sebagai referensi pada lima kali percobaan, serta pengujian konektivitas Bluetooth Low Energy ke aplikasi mobile pada berbagai jarak. Persentase kesalahan (error) pengukuran waktu dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Error (\%)} = |\text{Waktu Sistem} - \text{Waktu Stopwatch}| / \text{Waktu Stopwatch} \times 100\%$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perancangan Perangkat Keras

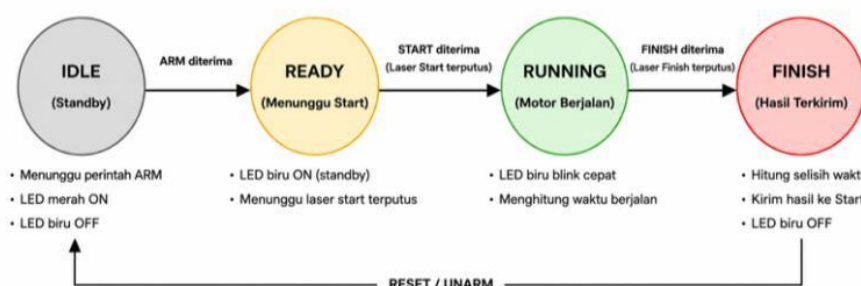
Perangkat keras sistem pengukur kinerja akselerasi kendaraan (drag meter) berbasis IoT ini terealisasi dalam bentuk dua unit terpisah, yaitu unit start dan unit finish, yang masing-masing dikemas dalam casing tersendiri agar mudah ditempatkan pada garis awal dan garis akhir lintasan pengujian. Setiap unit terdiri atas mikrokontroler ESP32, sensor LDR beserta rangkaian pembagi tegangan (resistor 10k Ω), dua LED indikator (biru dan merah) beserta resistor pembatas arus 100 Ω , modul LoRa sebagai media komunikasi nirkabel antar unit, serta switch saklar power sebagai antarmuka pengaktifan sistem.



Gambar 5. Realisasi Fisik Unit Start dan Unit Finish

3.2 Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak sistem dikembangkan menggunakan PlatformIO IDE dengan bahasa pemrograman C/C++ yang ditanamkan pada masing-masing mikrokontroler ESP32. Program pada unit start dirancang menggunakan konsep mesin status (state machine) dengan empat kondisi utama, yaitu IDLE (siaga), MOTOR_MASUK (fase deteksi awal), READY (siap berangkat), dan RUNNING (motor sedang berjalan menuju finish).



Gambar 6. Diagram Status (State Machine) Program Unit Start dan Finish

3.2.1 Kalibrasi Otomatis Sensor LDR

Sebelum memasuki alur komunikasi nirkabel dan mesin keadaan, kedua unit terlebih dahulu melakukan proses kalibrasi ambang batas (thresholding) sensor LDR secara otomatis pada fungsi setup(). Pengambilan sampel intensitas cahaya lingkungan dilakukan sebanyak 40 kali pada unit start dan 50 kali pada unit finish untuk mendapatkan nilai rata-rata kondisi terang awal. Nilai threshold deteksi selanjutnya ditetapkan sebesar 70% dari nilai terang lingkungan tersebut. Mekanisme ini memastikan sensor LDR tidak mengalami kesalahan pembacaan (false trigger) akibat fluktuasi intensitas cahaya di area lintasan balap.

3.2.2 Sinkronisasi Waktu (LoRa Sync)

Sebelum memasuki alur pengujian balap, unit start mengeksekusi prosedur sinkronisasi basis waktu (virtual zero baseline synchronization) dengan unit finish melalui gelombang nirkabel LoRa, guna menetapkan acuan titik nol bersama untuk mengatasi perbedaan durasi nyala awal (clock offset) antar mikrokontroler. Unit finish bertindak sebagai penerima dalam prosedur ini; ketika paket data sinkronisasi diterima dari unit start, unit finish mengambil nilai timestamp awal dan membalasnya dengan sinyal konfirmasi SYNCOK.

3.2.3. Mesin Keadaan (State Machine) dan Komunikasi Bluetooth

Kontrol utama alur operasional unit start dijalankan oleh mesin keadaan yang mengatur transisi status sistem berdasarkan masukan dari sensor LDR. Pada unit finish, program menangani instruksi dari unit start sekaligus memantau sensor LDR di garis finish; ketika sinyal ARM diterima, unit finish mengaktifkan status siaga, dan ketika sinyal START diterima, unit finish menyimpan timestamp waktu meluncur. Begitu kendaraan melintas dan memotong intensitas cahaya pada sensor LDR finish, sistem mengambil snapshot waktu saat ini, mengkalkulasi hasil waktu tempuh balap, kemudian memancarkan hasil tersebut kembali ke unit start untuk diteruskan ke aplikasi mobile melalui Bluetooth Low Energy. Unit start juga bertindak sebagai server BLE yang mentransmisikan telemetri status sistem secara lokal ke aplikasi mobile menggunakan profil GATT (Generic Attribute Profile) dengan metode notify untuk pembaruan data secara langsung.

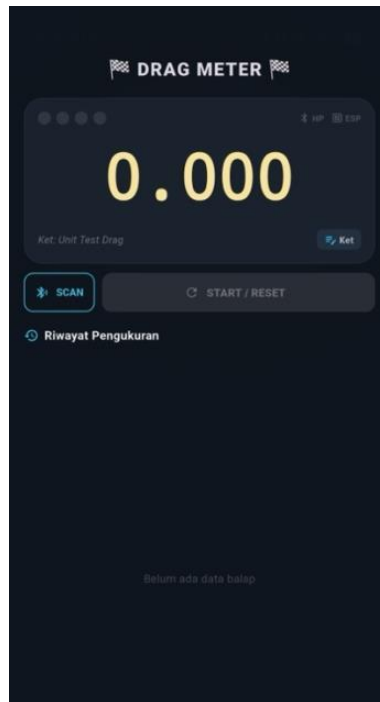
3.3 Hasil Implementasi Antarmuka Pengguna (Aplikasi Mobile)

Antarmuka pengguna diimplementasikan dalam bentuk aplikasi pada perangkat mobile yang terhubung ke unit start melalui komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE), seperti ditunjukkan dalam Gambar 7 dan Gambar 8. Aplikasi menampilkan status sistem secara real-time, meliputi tampilan awal saat aplikasi pertama dibuka, tampilan setelah perangkat berhasil terhubung dan siap digunakan, tampilan ketika sistem sedang berjalan (running) dengan timer aktif, tampilan hasil pengukuran setelah proses selesai, fitur untuk menambahkan keterangan pada hasil pengukuran, serta fitur untuk mengedit atau menghapus riwayat pengukuran yang telah tersimpan.

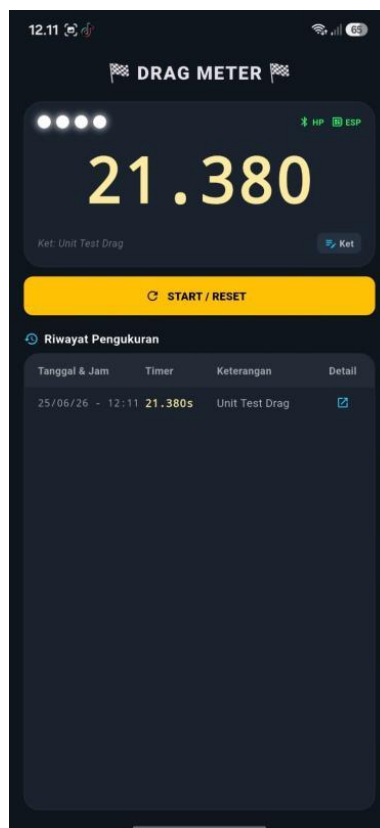
Dengan fitur-fitur tersebut, pengguna dapat memantau, mencatat, dan mengelola hasil pengujian akselerasi kendaraan secara praktis melalui satu aplikasi tanpa memerlukan perangkat tambahan lain.

4. PENGUJIAN SISTEM

Pengujian sistem dilakukan pada lintasan lurus di Jl. Takawa, Kabupaten Buton, Pasarwajo dengan panjang lintasan 200 meter, pada sore hari pukul 16.00, melalui pengamatan langsung di lapangan untuk memastikan kinerja dan responsivitas sistem.



Gambar 7. Tampilan Awal Aplikasi Drag Meter



Gambar 8. Tampilan Aplikasi Menampilkan Hasil Pengukuran

4.1 Pengujian Fungsional Sensor LDR

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan bahwa sensor LDR pada unit start dan unit finish mampu mendeteksi objek kendaraan dengan baik pada berbagai kondisi pencahayaan, dengan menyimulasikan objek melintas pada jarak dan kecepatan yang bervariasi di depan sensor.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor LDR yang dipadukan dengan berkas laser tidak terpengaruh oleh paparan cahaya matahari pada siang hari dan tetap sensitif mendeteksi pemutusan berkas laser pada kondisi malam hari yang minim cahaya. Pengujian durasi statis selama 60 detik tanpa objek melintas juga menunjukkan stabilitas nilai pembacaan yang tinggi tanpa adanya indikasi deteksi palsu (false positive), yang menegaskan bahwa penentuan nilai ambang batas melalui proses kalibrasi awal telah berhasil memberikan tingkat akurasi dan keandalan yang tinggi bagi sensor dalam mengenali objek yang melintas di berbagai kondisi pencahayaan lapangan.

4.2 Pengujian Komunikasi Data (Modul LoRa)

Pengujian komunikasi dilakukan untuk mengevaluasi stabilitas transmisi data antara unit start dan unit finish menggunakan modul LoRa, dengan mengamati keluaran data pada serial monitor untuk memastikan keberhasilan penerimaan perintah sinkronisasi waktu, serta pengamatan fisik melalui indikator LED merah untuk memverifikasi kontinuitas status konektivitas nirkabel. Hasil pengujian membuktikan bahwa modul LoRa memiliki performa transmisi yang sangat baik dan andal pada rentang jarak 50 hingga 150 meter, di mana seluruh perintah terkirim secara instan tanpa memerlukan pengulangan (retry = 0). Ketika jarak diperjauh menjadi 200 hingga 250 meter, data tetap berhasil terkirim 100% namun sistem mulai melakukan mekanisme retry sebanyak 1 hingga 5 kali akibat adanya hambatan propagasi berupa gelombang panas aspal. Kegagalan komunikasi total terjadi pada jarak 300 meter akibat efek degradasi sinyal yang parah akibat posisi antena yang terlalu dekat dengan permukaan tanah (ground effect), yang mempersempit zona Fresnel sinyal. Dengan demikian, batas jarak operasional aman dan efektif untuk implementasi sistem ini adalah maksimal 250 meter, yang sudah sangat ideal untuk mengakomodasi panjang lintasan balap drag bike standar (201 meter atau 402 meter).

4.3 Pengujian Akurasi Pengukuran Waktu

Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran waktu tempuh dari sistem dengan alat ukur referensi berupa stopwatch digital pada lintasan yang sama, dengan jumlah percobaan sebanyak lima kali untuk memperoleh data yang representatif. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi Pengukuran Waktu

No	Waktu Sistem (s)	Waktu Stopwatch (s)	Selisih (s)	Error (%)
1	11.601	12.01	0.409	3.41%
2	13.322	13.80	0.478	3.46%
3	10.901	11.36	0.459	4.04%
4	12.963	13.41	0.447	3.33%
5	11.707	12.15	0.443	3.65%
Rata-rata			0.447	3.58%

Berdasarkan data pada Tabel 2, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pengukuran waktu berbasis ESP32 memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi dan konsisten. Dari lima kali percobaan yang dilakukan, rata-rata selisih waktu antara sistem elektronik dan stopwatch manual adalah sebesar 0,447 detik, dengan rata-rata nilai error keseluruhan hanya sebesar 3,58% atau tingkat akurasi mencapai 96,42%. Nilai selisih yang konstan di kisaran 0,4 detik ini bukan disebabkan oleh kegagalan komputasi perangkat, melainkan akibat dari faktor keterlambatan waktu refleksi manusia (human reaction time) saat menekan tombol stopwatch manual di garis

finish. Dengan demikian, sistem pencatat waktu yang dirancang telah memenuhi standar kelayakan akurasi pengujian karena nilai error yang dihasilkan berada jauh di bawah ambang batas toleransi ilmiah sebesar 5%.

4.4 Pengujian Konektivitas Bluetooth ke Aplikasi Mobile

Pengujian dilakukan untuk mengetahui jarak maksimum dan kestabilan koneksi Bluetooth Low Energy (BLE) antara unit start dengan aplikasi pada perangkat mobile. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jarak fisik antara perangkat mobile dan modul Bluetooth pada ESP32 memiliki pengaruh yang signifikan terhadap stabilitas serta keberhasilan transmisi data. Konektivitas Bluetooth mampu mempertahankan performa terbaiknya pada rentang 1 hingga 5 meter dengan status koneksi yang stabil, kuat, dan persentase kesesuaian tampilan status sebesar 100%. Penurunan kualitas sinyal mulai terjadi pada jarak 10 meter, di mana koneksi dilaporkan kurang baik akibat mulai munculnya gejala terputus-putus (intermittent connection), dan mengalami kegagalan koneksi pada jarak 15 meter. Dengan demikian, batas operasional jarak aman dan efektif untuk penggunaan koneksi Bluetooth pada sistem ini adalah maksimal 5 meter guna menjamin pertukaran data waktu balapan berjalan secara real-time tanpa kendala latensi atau pemutusan data sepihak.

4.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan seluruh rangkaian pengujian yang telah dilakukan, baik pada subsistem perangkat keras maupun integrasi perangkat lunak, dapat dianalisis bahwa metode penyelarasan antara berkas laser dan sensor LDR memiliki keandalan tinggi berkat algoritma kalibrasi awal yang ditanamkan pada mikrokontroler ESP32, sehingga faktor interferensi lingkungan seperti paparan cahaya matahari maupun kondisi minim cahaya terbukti tidak memengaruhi sensitivitas deteksi. Dari sisi akurasi waktu, deviasi sebesar 3,58% dinilai murni disebabkan oleh faktor keterlambatan waktu respons motorik manusia, bukan oleh komputasi mikrokontroler yang bekerja dalam presisi skala milidetik, sehingga sistem ini dinyatakan valid untuk digunakan sebagai standar pengukur waktu balap. Dari sisi transmisi data nirkabel, karakteristik propagasi gelombang radio LoRa pada area lintasan terbuka menunjukkan performa tanpa celah pada radius 50 hingga 150 meter, sementara mekanisme retry otomatis berhasil mengatasi fluktuasi redaman sinyal pada jarak 200–250 meter, dengan batas aman operasional terkunci pada 250 meter yang telah melampaui kebutuhan lintasan drag bike standar. Terakhir, dari sisi konektivitas aplikasi mobile, jangkauan komunikasi Bluetooth ESP32 dengan aplikasi memetakan batas aman 5 meter sebagai jarak ideal penggunaan di lapangan agar pertukaran data real-time berjalan tanpa kendala latensi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem pengukur kinerja akselerasi kendaraan (drag meter) berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem drag meter berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor LDR, modul komunikasi LoRa, dan konektivitas Bluetooth Low Energy (BLE) ke perangkat mobile telah berhasil dirancang dan direalisasikan dalam bentuk dua unit terpisah (unit start dan unit finish).
2. Sensor LDR yang dipasangkan dengan rangkaian pembagi tegangan mampu digunakan sebagai pendeteksi keberadaan kendaraan pada titik start dan titik finish melalui mekanisme kalibrasi ambang batas otomatis dan konfirmasi pembacaan berulang.

3. Mekanisme komunikasi data antar unit melalui modul LoRa yang dilengkapi dengan konfirmasi penerimaan (acknowledgment) dan pengiriman ulang (retry) otomatis terbukti dapat mengatasi permasalahan kehilangan paket data (packet loss) yang umum terjadi pada komunikasi radio half-duplex, sehingga meningkatkan keandalan sistem dalam mencatat waktu keberangkatan dan waktu tiba kendaraan.
4. Berdasarkan hasil pengujian akurasi pengukuran waktu, sistem pencatat waktu elektronik yang dirancang memiliki tingkat validitas yang tinggi dengan nilai rata-rata persentase kesalahan (error) pengujian hanya sebesar 3,58% jika dibandingkan dengan stopwatch digital manual.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Menambahkan modul regulator tegangan dan/atau modul pengisi daya (charging) berukuran kompak apabila tersedia casing dengan ruang yang lebih memadai, guna meningkatkan kestabilan suplai daya sekaligus kemudahan pengisian ulang baterai.
2. Meningkatkan ketinggian tiang antena LoRa minimal 1,5 hingga 2 meter dari permukaan tanah untuk mengatasi kegagalan komunikasi data pada jarak jauh akibat efek redaman tanah (ground attenuation), guna memperluas zona Fresnel sinyal.
3. Menggunakan casing komponen dengan sertifikasi standar IP65, mengingat alat ini dioperasikan di area lintasan terbuka (outdoor), agar sistem lebih tahan terhadap debu jalanan dan percikan air hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Golub, G. H. dan Van Loan, C. F. 1989. *Matrix Computations*, Second Edition. The Johns Hopkins University Press, London.
- Rajamani, R. (2012). *Vehicle Dynamics and Control*. Springer US.
- Martucci, A., Cerasuolo, G., Petrella, O., & Laracca, M. (2020). On the Calibration of GNSS-Based Vehicle Speed Meters. *Sensors*, 20(3), 591.
- Berte, D.-R. (2018). Defining the IoT. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, 12(1), 118–128.
- Anggara, K., Kharisma, O. B., Wenda, A., & Abdillah, A. (2021). Smart Early Warning System untuk Keamanan Sepeda Motor Berbasis Prosesor Xtensa LX6. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 10(2), 135–147.
- Darmawan, C. W. (2020). Implementasi Internet of Things pada Monitoring Kecepatan Kendaraan Bermotor. 9(2).
- Gede Indra Perdana, I., Wibowo, H., & Ridwan, A. (2022). Pengukuran Kecepatan Kendaraan Berbasis Mikrokontroler Guna Menunjang Keselamatan dalam Berkendara. *Jurnal Penelitian*, 6(4), 237–246.
- Ramdhani, A., Aminudin, A., & Danawan, A. (2017). Rancang Bangun Sistem Pengukur Kecepatan Kendaraan Menggunakan Sensor Magnetik. *Wahana Fisika*, 2(1), 28.
- Satura, F. R., Chandra, A. A., & Adhinata, F. D. (2021). Pengukur Kecepatan Kendaraan Menggunakan Algoritma Image Subtracting. *Journal ICTEE*, 2(2), 35.
- Nuryaman, A., Mulyana, E., & Mardiaty, R. (2017). Rancang Bangun Prototipe Alat Pengukur Kecepatan Kendaraan dengan Sensor Infra Merah.
- Setiadi, C., & Mahfudi, I. (t.t.). Rancang Bangun Repeater LoRa Berbasis Ebyte E220-400T22D untuk Memperluas Jangkauan Komunikasi.
- Nurlaila, N., Paembonan, S., & Suppa, R. (2024). Rancang Pendeteksian Kecepatan Kendaraan Berbasis Arduino. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3).

- Sinaulan, O. M., Rindengan, Y. D. Y., & Sugiarto, B. A. (t.t.). Perancangan Alat Ukur Kecepatan Kendaraan Menggunakan ATmega 16.
- Saputra, M. I. (t.t.). Rancang Bangun Prototipe Alat Pengukuran Kecepatan Kendaraan Bermotor Menggunakan Sensor Efek Hall Seri A-1302 Berbasis Arduino Mega2560.
- Alfarizy, B. A., & Suryo, Y. A. (2025). Perancangan Sistem Peringatan untuk Pengendara Sepeda Motor Berdasarkan Kecepatan dan Detak Jantung Berbasis ESP32.