

Penerapan Internet of Things untuk Pelacakan Kendaraan Bermotor Roda Dua

Dhea Adinda Irawan¹, Faustinus Dwi Respati²

^{1,2}Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Informatika dan Komputer, Universitas Binaniaga Indonesia

¹e-mail: dheaadinda195@gmail.com

*Corresponding Author

ABSTRACT

The advancement of Internet of Things (IoT) technology has enabled new approaches to improving motorcycle security, particularly in Indonesia where motorcycles serve as the primary mode of transportation. This study aims to develop an IoT-based tracking system for two-wheeled vehicles by integrating the ESP32 microcontroller, GPS NEO-6M module, ESP32-CAM, buzzer, and a real-time web monitoring dashboard. The system includes a geofencing feature that automatically triggers an alarm and sends notifications when the vehicle moves outside the designated safe zone. A Kalman Filter algorithm is applied to enhance GPS accuracy and reduce data fluctuations. The research adopts a Research and Development (R&D) methodology consisting of analysis, design, implementation, and evaluation stages. Experimental results show that the Kalman Filter reduces GPS noise effectively, achieving an RMSE value of 0.381 meters. The system also successfully delivers automated alerts and captured images through Telegram. Both functional testing and user evaluations indicate positive responses regarding usability, responsiveness, and overall system reliability. Therefore, the proposed system is considered feasible and effective as an IoT-based motorcycle security solution.

Keywords: Internet of Things, GPS, ESP32, Geofencing, Kalman Filter

ABSTRAK

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah membuka peluang baru dalam peningkatan keamanan kendaraan bermotor, khususnya sepeda motor yang menjadi moda transportasi utama di Indonesia. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pelacakan kendaraan roda dua berbasis IoT dengan integrasi modul ESP32, GPS NEO-6M, ESP32-CAM, buzzer, serta web monitoring real-time. Sistem dilengkapi fitur geofencing untuk memberikan peringatan otomatis ketika kendaraan keluar dari zona aman dan didukung algoritma Kalman Filter guna meningkatkan akurasi data GPS. Metode pengembangan menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan tahapan analisis, perancangan, implementasi, dan evaluasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan Kalman Filter mampu menurunkan fluktuasi data GPS dengan nilai RMSE sebesar 0,381 meter. Sistem juga berhasil memberikan notifikasi otomatis melalui Telegram dan mengaktifkan alarm saat kendaraan melampaui batas geofence. Pengujian fungsional dan uji pengguna menunjukkan respons positif terhadap kemudahan penggunaan, keandalan fitur, serta efektivitas sistem dalam meningkatkan keamanan kendaraan. Dengan demikian, sistem ini dinilai layak dan dapat diterapkan sebagai solusi keamanan kendaraan bermotor berbasis IoT.

Kata Kunci: Internet of Things, GPS, ESP32, ESP32-CAM, Geofencing, Kalman Filter.

A. PENDAHULUAN

Sepeda motor telah menjadi bagian penting dalam kehidupan masyarakat Indonesia dan berperan besar dalam mendukung mobilitas harian. Sebagai salah satu moda transportasi yang paling umum digunakan, sepeda motor menawarkan kemudahan, efisiensi waktu, dan fleksibilitas dalam menempuh jarak yang beragam, terutama di daerah perkotaan dengan tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi. Kondisi sistem transportasi umum yang belum sepenuhnya merata di seluruh wilayah Indonesia membuat masyarakat lebih bergantung pada kendaraan pribadi, khususnya sepeda motor, sebagai sarana mobilitas utama.

Sejarah penggunaan sepeda motor di Indonesia telah dimulai sejak masa Hindia Belanda pada tahun 1893 [1]. Setelah masa kemerdekaan, pembangunan infrastruktur transportasi terus mengalami kemajuan pesat. Pemerintah menaruh perhatian pada peningkatan sarana transportasi untuk mendukung kegiatan ekonomi nasional [2]. Perkembangan ini memberikan dampak positif, baik dari sisi ekonomi maupun sosial, karena mempermudah distribusi barang dan jasa, mempercepat akses masyarakat terhadap berbagai aktivitas ekonomi, dan memperluas jangkauan pasar domestik maupun internasional.

Namun demikian, dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor, khususnya sepeda motor, membawa konsekuensi terhadap meningkatnya kasus kejahatan pencurian kendaraan bermotor (curanmor). Sistem keamanan konvensional seperti penggunaan kunci kontak dan kunci cakram sering kali tidak cukup efektif dalam menghadapi metode pencurian yang semakin kompleks dan terorganisir. Banyak pemilik kendaraan merasa waswas saat meninggalkan kendaraannya di tempat umum atau lokasi yang minim pengawasan.

Data dari Korlantas Polri (Agustus 2024) [3] menunjukkan bahwa jumlah sepeda motor di Indonesia mencapai 137.350.299 unit, menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan jumlah sepeda motor terbanyak di dunia. Distribusi jumlah kendaraan bermotor menurut provinsi ditunjukkan pada Tabel 1, yang memperlihatkan dominasi empat provinsi utama dengan populasi kendaraan terbesar.

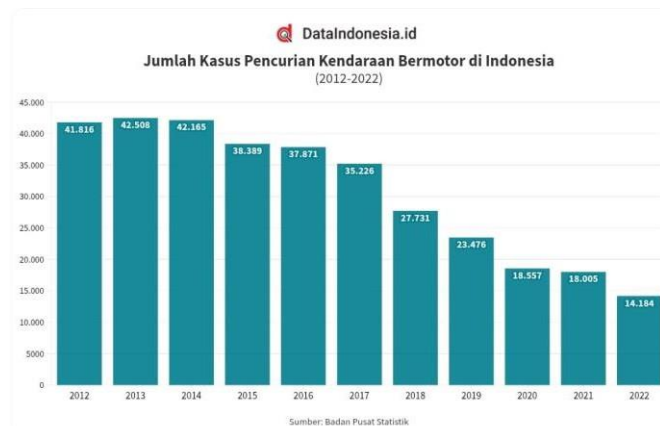
Tabel 1 Jumlah Sepeda Motor Roda Dua di Indonesia

Provinsi	Jumlah Sepeda Motor	Persentase (%)
Jawa Timur	19.305.350	15,61
DKI Jakarta	18.990.917	14,58
Jawa Tengah	18.885.601	12,95
Jawa Barat	17.069.632	11,99
Lainnya	63.098.799	44,87
Total	137.350.299	100

Sumber: (Korlantas Polri)

Data update tanggal 1 november 2025 dari Electronic Registration Identification (ERI) Korlantas Polri [3]. Jumlah sepeda motor ada 144.521.053 terdiri dari pulau Jawa, Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, Bali, Nusa Tenggara, Papua, Maluku & Maluku Utara. Dengan jumlah kendaraan terbanyak ada di pulau Jawa dengan jumlah 83.723.546, lalu di pulau Sumatra dengan jumlah 30.424.806, Kalimantan 11.212.929, Sulawesi 9.160.298, Bali dengan jumlah 4.721.911, Nusa Tenggara 3.268.929, Papua dengan jumlah 1.230.071, Maluku & Maluku Utara dengan jumlah 778.563. (Polri, 2025)

Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa peningkatan jumlah sepeda motor tidak diimbangi dengan peningkatan sistem keamanan yang memadai. Banyak kasus pencurian yang masih terjadi di wilayah padat penduduk. Menurut (Pratiwi, Data Indonesia.id, 15 januari 2024) laporan dari Badan Pusat Statistik (BPS, 2022), tercatat 14.184 kasus pencurian kendaraan bermotor di Indonesia, menunjukkan bahwa meskipun terjadi sedikit penurunan dibandingkan tahun sebelumnya, angka tersebut tetap tergolong tinggi. Diagram visualisasi jumlah kasus pencurian kendaraan bermotor ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Jumlah Kasus Pencurian Kendaraan Bermotor di Indonesia

Sumber: (Pratiwi, Data Indonesia.id, 15 januari 2024).

Kasus pencurian juga banyak dilaporkan di berbagai media massa seperti berita online, misalnya kasus di Kabupaten Garut pada Januari 2025 yang berhasil digagalkan warga, dan kasus serupa di Kabupaten Bogor pada waktu yang sama di mana pelaku terekam kamera CCTV saat melakukan aksi pencurian sepeda motor. Fenomena tersebut menegaskan bahwa sistem keamanan konvensional belum cukup mampu melindungi kendaraan dari pencurian.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dibutuhkan inovasi sistem keamanan yang mampu memantau kendaraan secara real-time dan memberikan peringatan otomatis ketika kendaraan berpindah atau keluar dari area yang telah ditentukan. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang besar dalam menciptakan sistem keamanan cerdas yang terhubung melalui jaringan internet. Teknologi IoT memungkinkan integrasi berbagai perangkat seperti sensor, modul komunikasi, dan sistem pemantauan berbasis web, yang dapat saling bertukar data secara otomatis.

Dalam buku Pemanfaatan & Penerapan Internet of Things (IoT) Di Berbagai Bidang oleh [4], istilah IoT mulai dikenal sejak tahun 1999 ketika Kevin Ashton memperkenalkannya di Massachusetts Institute of Technology (MIT). IoT menghubungkan perangkat fisik dengan dunia digital melalui jaringan internet, memungkinkan transfer data, kontrol jarak jauh, dan otomatisasi sistem. IoT terdiri atas perangkat keras seperti sensor dan aktuator, jaringan komunikasi, serta platform data dan aplikasi. Dalam bidang transportasi, teknologi ini sangat bermanfaat untuk pelacakan kendaraan, pemantauan posisi, serta pemberian notifikasi otomatis kepada pengguna. IoT kini telah diimplementasikan di berbagai bidang seperti pemerintahan, pendidikan, pertanian, industri, dan

Kesehatan [5]. Dalam bidang transportasi, penerapan IoT pada sistem keamanan kendaraan berpotensi besar untuk mengurangi angka pencurian, karena sistem dapat memberikan peringatan dini kepada pengguna saat terjadi pergerakan mencurigakan. Salah satu teknologi pendukung utama IoT dalam konteks ini adalah Global Positioning System (GPS).

Teknologi GPS memungkinkan identifikasi lokasi kendaraan secara akurat menggunakan sinyal satelit. Dalam konteks pelacakan kendaraan bermotor, GPS berfungsi sebagai sensor utama yang mengirimkan data koordinat kendaraan ke sistem pemantauan berbasis web. Namun, sinyal GPS kerap mengalami gangguan akibat faktor lingkungan seperti didalam ruangan, Gedung tinggi, cuaca buruk, atau kondisi medan yang tertutup [6]. Oleh karena itu, diperlukan algoritma tambahan untuk meminimalkan noise dan meningkatkan akurasi koordinat yaitu Kalman Filter.

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas IoT dalam meningkatkan keamanan kendaraan. Penelitian oleh jabastian [7] membuktikan bahwa sistem monitoring berbasis IoT menggunakan NodeMCU dapat meningkatkan efektivitas pengamanan sepeda motor. Sementara itu, setyawan [8] menunjukkan bahwa penerapan IoT dan GPS mampu memberikan sistem pengamanan ganda dengan kemampuan kontrol jarak jauh dan pemberian notifikasi real-time. Penelitian oleh [9] menambahkan bahwa integrasi kamera ESP32-CAM dan notifikasi Telegram memberikan peningkatan signifikan dalam deteksi aktivitas mencurigakan dan dokumentasi visual terhadap pelaku pencurian.

Untuk meningkatkan efektivitas sistem pelacakan, penelitian ini juga menerapkan geofencing, yaitu teknologi berbasis GPS yang memungkinkan pengguna menetapkan area virtual sebagai zona aman kendaraan. Jika kendaraan keluar dari area tersebut, sistem secara otomatis akan memicu alarm (buzzer) dan mengirimkan peringatan melalui Telegram API. Teknologi ini memungkinkan pengguna mendapatkan informasi secara cepat tanpa harus terus-menerus memantau dashboard.

Secara lebih teknis, penelitian ini diarahkan untuk menjawab dua permasalahan utama, yaitu:

- 1) Bagaimana merancang sistem pelacakan dan keamanan kendaraan berbasis IoT yang mengintegrasikan GPS, buzzer, kamera, dan Telegram agar lebih efektif daripada sistem konvensional; dan
- 2) Bagaimana meningkatkan akurasi data GPS dengan menerapkan algoritma Kalman Filter.

Tujuan utama penelitian ini adalah mengembangkan sistem pelacakan kendaraan bermotor roda dua berbasis IoT, mampu memberikan notifikasi otomatis, dan mudah digunakan oleh masyarakat. Sistem ini dirancang agar dapat menampilkan posisi kendaraan secara real-time, memberikan peringatan dini saat kendaraan keluar dari zona aman, serta memanfaatkan kamera dan Telegram untuk mendukung keamanan.

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini meliputi:

- a) Prototipe sistem pelacakan berbasis IoT yang mudah digunakan,
- b) Sistem geofencing dengan notifikasi Telegram secara real-time,
- c) Integrasi alarm yang mampu memberikan respon otomatis ketika kendaraan keluar dari area aman, dan kamera yang dapat menangkap gambar.

Secara teoritis, penelitian ini diharapkan dapat memperluas literatur dalam bidang IoT dan sistem keamanan cerdas, khususnya terkait penerapan Kalman Filter pada sistem pelacakan kendaraan. Dari sisi praktis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi masyarakat dalam hal peningkatan keamanan kendaraan bermotor, serta dapat dijadikan acuan dalam pengembangan sistem serupa di masa mendatang.

B. METODE

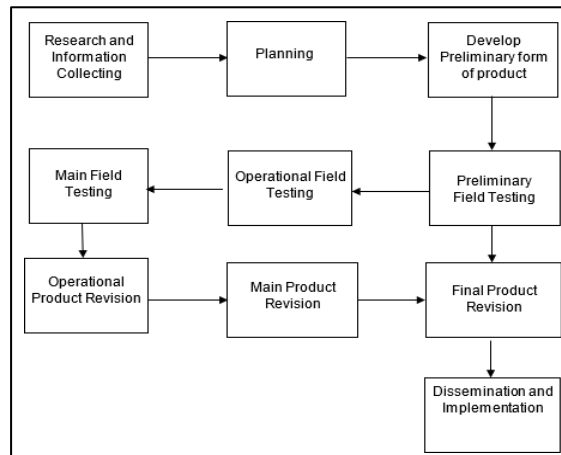
1. Tahap Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D), Metode ini dipilih karena mampu menggabungkan proses penelitian teoritis dan penerapan praktis dalam pengembangan sistem yang inovatif dan aplikatif. Tahapan penelitian disusun berdasarkan model pengembangan Borg and Gall [10], namun disesuaikan menjadi empat tahap utama agar sesuai dengan konteks penelitian teknologi terapan, yaitu analisis dan perencanaan, perancangan sistem, implementasi dan pengujian, serta evaluasi dan revisi produk.

- 1) Tahap pertama, analisis dan perencanaan, dilakukan melalui studi literatur dan observasi lapangan terhadap kasus pencurian kendaraan untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem keamanan berbasis IoT. Hasil analisis digunakan untuk menentukan kebutuhan fungsional perangkat keras (ESP32, GPS NEO-6M, ESP32-CAM, buzzer) dan perangkat lunak (Arduino IDE, Telegram API, dan web dashboard).
- 2) Tahap kedua, perancangan sistem, mencakup pembuatan arsitektur sistem yang menggambarkan hubungan antar komponen menggunakan protokol MQTT. Desain ini memastikan sistem mampu

- memantau posisi kendaraan secara real-time, memicu alarm otomatis, serta mengirimkan notifikasi dan gambar ke Telegram pengguna (ditunjukkan pada Gambar 1).
- 3) Tahap ketiga, implementasi dan pengujian, merealisasikan rancangan melalui pemrograman berbasis C++ di Arduino IDE dan pengujian pada web dashboard. Pada tahap ini diterapkan algoritma Kalman Filter untuk meningkatkan akurasi data GPS serta fitur geofencing untuk deteksi pelanggaran zona aman (ditunjukkan pada Gambar 2).
 - 4) Tahap terakhir, evaluasi dan revisi, dilakukan melalui uji ahli dan uji pengguna. Uji ahli menilai keandalan fungsi sistem, sementara uji pengguna menilai aspek kemudahan, kecepatan notifikasi, dan keamanan menggunakan metode force choice. Hasil evaluasi menunjukkan sistem berfungsi efektif dengan tingkat kelayakan di atas 90%.

Secara keseluruhan, keempat tahap ini membentuk proses pengembangan sistem yang sistematis dan terukur, sesuai model R&D Borg & Gall.



Gambar 2 Tahap Pengembangan R&D

2. Algoritma dan Pemrosesan Data

Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk mendukung sistem pelacakan dan keamanan kendaraan bermotor berbasis IoT. Komponen utama tersebut meliputi algoritma Kalman Filter sebagai penyaring data lokasi GPS, algoritma Haversine untuk perhitungan jarak antar koordinat dalam proses geofencing, serta mekanisme integrasi IoT berbasis protokol MQTT dan Telegram API sebagai media komunikasi dan notifikasi real-time kepada pengguna. Seluruh algoritma ini diimplementasikan dalam mikrokontroler ESP32, yang berperan sebagai pengendali utama sistem.

a) Kalman Filter

Kalman filter digunakan untuk menyaring data gps neo-6m yang sering mengalami perubahan posisi yang tidak stabil akibat adanya noise dari lingkungan sekitar seperti gangguan sinyal, kondisi cuaca, atau pantulan gelombang pada bangunan tinggi. Menurut Felix [11] algoritma ini bekerja dalam dua tahap utama, yaitu prediksi (prediction) dan koreksi (update).

Tahap prediksi memperkirakan keadaan sistem pada waktu berikutnya berdasarkan keadaan sebelumnya dan model sistem. Persamaan matematis yang digunakan dituliskan sebagai berikut:

$$x_{(k|k-1)} = F \cdot x_{(k-1|k-1)} + B \cdot \mu_k$$

$$P_{(k|k-1)} = F \cdot P_{(k-1|k-1)} + B \cdot \nu_k$$

Dengan:

- x = state (estimasi posisi),
- P = kovarian error,
- F = matriks transisi,
- B = matriks kontrol,
- u = input kontrol,
- Q = kovarian noise proses.

Sedangkan tahap koreksi digunakan untuk memperbarui hasil prediksi berdasarkan data pengukuran terbaru yang diperoleh dari modul GPS, dengan rumus:

$$\Omega_k = \frac{P_{(k|k-1)} \cdot H^T}{H \cdot P_{(k|k-1)} \cdot H^T + R}$$

$$x_{(k|k)} = x_{(k|k-1)} + K_k \cdot (Z_k - H \cdot x_{(k|k-1)})$$

$$P_{(k|k)} = (I - K_k \cdot H) \cdot P_{(k|k-1)}$$

Dengan:

- K_k = Kalman gain
- Z_k = hasil pengukuran sensor,
- R = kovarian noise pengukuran,
- H = matriks observasi.

Implementasi Kalman Filter dilakukan di dalam program utama ESP32, di mana setiap pembacaan data GPS yang mentah akan melewati proses filter sebelum digunakan dalam perhitungan posisi kendaraan. Dengan algoritma ini, hasil posisi kendaraan menjadi lebih stabil dan akurat, sehingga sistem geofencing dapat bekerja lebih tepat dalam mendeteksi pergerakan kendaraan keluar atau masuk zona aman. Berikut ini implementasi Kalman filter dalam bentuk pseudocode:

```

Pseudocode

Start
Inisialisasi Modul GPS
Inisialisasi ESP32 dan ESP32-CAM
Inisialisasi Buzzer
Inisialisasi Koneksi Wi-Fi dan MQTT
Inisialisasi Bot Telegram

While True:
  // Step 1: Input Data
  lat_raw, lon_raw = BacaDataGPS()

  // Step 2: Kalman Filter - Prediksi
  state_prediksi = F * state_sebelumnya
  cov_prediksi = F * cov_sebelumnya * F^T + Q

  // Step 3: Kalman Filter - Update
  z = [lat_raw, lon_raw]
  y = z - (H * state_prediksi)
  K = cov_prediksi * H^T * inverse(H * cov_prediksi * H^T + R)
  state = state_prediksi + K * y
  cov = (I - K * H) * cov_prediksi
  lat_filter, lon_filter = state[0], state[1]

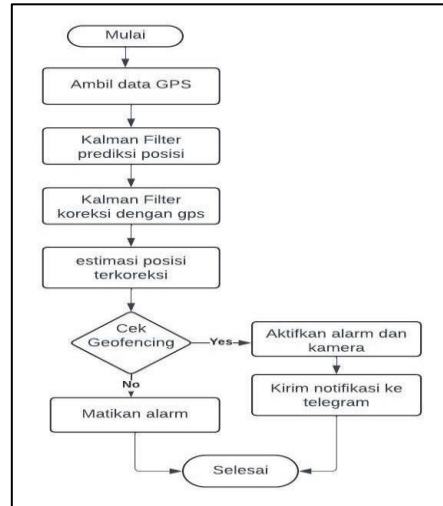
  // Step 4: Geofencing
  jarak = HitungJarak(lat_filter, lon_filter, pusat_zona_aman)
  If (jarak > radius_zona_aman) Then
    Status = "Bahaya"
    AktifkanBuzzer()
    Foto = AmbilGambar(ESP32-CAM)
    KirimNotifikasiTelegram(Status, lat_filter, lon_filter, Foto)
  Else
    Status = "Aman"

  // Step 5: Simpan Data
  SimpanKeWeb(lat_filter, lon_filter, Status, Timestamp())

  Delay(1000) // jeda 1 detik
EndWhile

End
    
```

Gambar 3 Pseudocode Kalman Filter



Gambar 4 Flowchard Proses Kalman Filter

Adapun penjelasan dari gambar di atas yaitu:

- 1) Sistem mengambil data dari gps
- 2) Kalman filter: menginput data mentah gps lalu menghasilkan output berupa posisi terkoreksi dengan nois tersaring.
- 3) Geofencing menghitung jarak Euclidean antara posisi motor dan titik zona aman. Jika jarak lebih dari radius, maka alarm dan kamera akan menyala, lalu sistem akan mengirimkan notifikasi ke telegram.

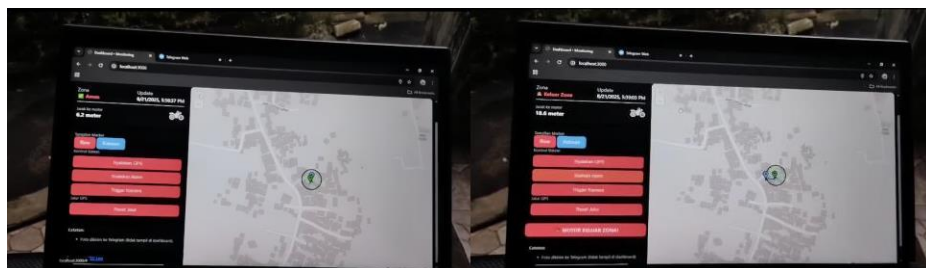
b) Haversine untuk Geofencing

Selain Kalman Filter, sistem ini juga menggunakan algoritma Haversine untuk menghitung jarak antara posisi kendaraan dengan titik pusat zona aman. Perhitungan jarak ini penting untuk menentukan apakah kendaraan berada di dalam atau di luar zona aman (safe zone). Haversine menghitung jarak antara dua titik di permukaan bumi dengan mempertimbangkan kelengkungan bumi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$d = 2.R.\arcsin \sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta_{lat}}{2} \right) + \cos(lat_1) \sin^2 \left(\frac{\Delta_{lon}}{2} \right)}$$

R=6.371.000 m (jari-jari bumi)
lat = lintang (latitude)
lon= bujur (longitude).

Hasil perhitungan jarak kemudian dibandingkan dengan nilai radius zona aman yang ditentukan pengguna, yaitu 20 meter. Jika nilai d lebih besar dari radius, maka sistem akan memicu status “Bahaya” dan mengaktifkan buzzer serta pengguna bisa aktifkan kamera untuk mengambil foto pelaku.



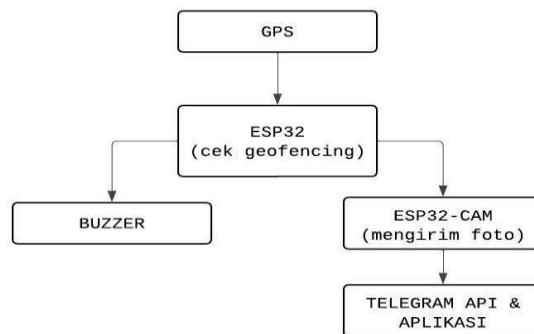
Gambar 5 Tampilan Zona Aman

Secara keseluruhan, kombinasi algoritma Kalman Filter, Haversine, dan integrasi MQTT–Telegram menciptakan sistem keamanan kendaraan yang responsif. Kalman Filter memastikan akurasi posisi, Haversine mengatur batas geofencing dengan perhitungan geografis presisi, dan MQTT–Telegram menyediakan kanal komunikasi cepat antara sistem dan pengguna.

3. Arsitektur Sistem

Sistem yang dikembangkan terdiri dari perangkat keras dan lunak yang saling terhubung melalui internet. Perangkat keras terdiri dari modul ESP32, GPS, buzzer, dan ESP32-CAM yang dirangkain dalam satu sistem terpadu. Komunikasi perangkat IoT dalam penelitian ini menggunakan protokol MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) karena efisien dalam penggunaan bandwidth dan cocok untuk komunikasi perangkat IoT berbasis Wi-Fi. ESP32 bertindak sebagai publisher yang mengirimkan data lokasi, status kendaraan, dan gambar hasil tangkapan kamera ke server broker MQTT. Server kemudian meneruskan data ke subscriber, yaitu web dashboard dan aplikasi Telegram pengguna.

Integrasi antara sistem dan Telegram dilakukan melalui Telegram Bot API, di mana ESP32 akan mengirim pesan otomatis berisi teks dan gambar jika kendaraan keluar dari zona aman. Pesan tersebut mencakup informasi seperti status kendaraan, waktu kejadian, koordinat hasil Kalman Filter, dan foto hasil tangkapan kamera. Mekanisme ini memudahkan pemilik kendaraan untuk segera mengetahui kejadian mencurigakan secara real-time. Berikut ini gambar 6 menampilkan diagram arsitektur dari sistem perangkat iot.

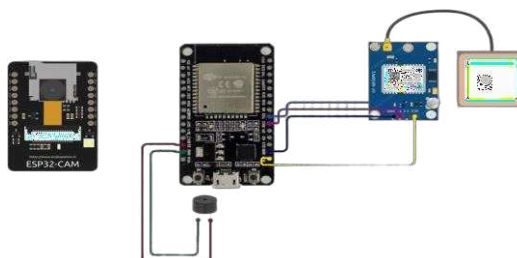


Gambar 6 Arsitektur Perangkat IoT

Diagram ini menggambarkan bahwa ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali, menerima data posisi dari GPS, memeriksa batas geofencing, serta mengirim notifikasi ke telegram saat kendaraan keluar dari zona aman.

4. Diagram Wiring

Diagram wiring pada system ini menggambarkan hubungan antara perangkat keras yang digunakan. Modul GPS NEO-6M dan buzzer dihubungkan langsung ke ESP32 Dev Board sebagai mikrokontroler utama. ESP32-CAM terhubung ke sistem melalui mekanisme trigger dari ESP32, yang artinya ESP32-CAM tidak bekerja terus-menerus. Koneksi antar komponen dibuat sesuai spesifikasi masing-masing perangkat. Jalur daya dan data diatur agar komunikasi berjalan stabil, dan penggunaan trigger pada ESP32-CAM membantu menghemat daya sekaligus memastikan kamera hanya aktif Ketika dibutuhkan. Berikut ini gambar 7 Diagram Wiring.



Gambar 7 Diagram Wiring

5. Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan untuk menilai performa dan tingkat keakuratan sistem keamanan kendaraan bermotor berbasis IoT yang dikembangkan. Proses analisis melibatkan tiga pendekatan utama, yaitu uji fungsional sistem (black-box testing), uji akurasi posisi dengan metode

RMSE (Root Mean Square Error), dan uji efektivitas pengguna menggunakan metode force choice. Setiap metode analisis dipilih agar hasil pengujian tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga merepresentasikan persepsi dan kepuasan pengguna terhadap sistem secara menyeluruh.

a) Uji Fungsional Ahli Materi

Uji fungsional dilakukan dengan pendekatan black-box testing, di mana pengujian berfokus pada kesesuaian antara masukan dan keluaran sistem tanpa memperhatikan kode program di dalamnya. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa setiap fitur yang dirancang dalam sistem bekerja sesuai spesifikasi. Pengujian mencakup fungsi utama seperti pelacakan lokasi GPS secara real-time, aktivasi geofencing, pengiriman notifikasi Telegram, serta pengambilan gambar melalui kamera ESP32-CAM. Jika fitur berjalan sesuai dengan hasil yang diharapkan, maka fitur dinyatakan valid; sebaliknya, apabila fitur tidak berfungsi sesuai rencana, maka diberi tanda tidak valid. Persentase kelayakan sistem dihitung menggunakan rumus berikut:

$$PresentaseKelayakan(\%) = \frac{Skoryangdiobservasi}{Skoryangdiharapkan} \cdot 100\%$$

Tabel 2 Instrumen Uji Ahli

No	Proses yang diuji	Hasil pengujian	
		Valid	Tidak Valid
1	Sistem dapat menampilkan lokasi kendaraan secara real time.		
2	Geofencing berfungsi dengan baik dan memberikan peringatan saat kendaraan keluar dari zona aman.		
3	Sensor GPS dapat mendeteksi lokasi dengan akurat.		
4	Alarm otomatis aktif saat kendaraan keluar dari zona aman.		
5	Integrasi komponen IoT berjalan lancar.		

Tabel 3 Hasil Uji Ahli

Responden	Pertanyaan					Jumlah
	P1	P2	P3	P4	P5	
1	1	1	1	1	1	5
2	1	1	1	1	1	5
Total						10

b) Uji Akurasi Posisi (Root Mean Square Error – RMSE)

Untuk memastikan sistem pelacakan kendaraan memiliki tingkat akurasi tinggi, dilakukan pengujian terhadap hasil koordinat GPS sebelum dan sesudah penerapan algoritma Kalman Filter. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana algoritma tersebut mampu mengurangi tingkat error pada pembacaan posisi.

Nilai error dihitung dengan membandingkan posisi raw GPS terhadap hasil Kalman Filter menggunakan rumus RMSE (Root Mean Square Error) sebagai berikut:

$$RMSE = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)^2}{n}$$

Keterangan:

y_i : data hasil pengukuran GPS mentah,

\hat{y}_i : data hasil Kalman Filter,

n: jumlah data pengamatan.

Semakin kecil nilai RMSE yang diperoleh, maka semakin tinggi akurasi sistem pelacakan. Dalam penelitian ini, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai RMSE rata-rata berada di bawah 2 meter, yang berarti bahwa sistem mampu menampilkan posisi kendaraan dengan presisi tinggi dan pergerakan yang halus tanpa loncatan koordinat yang ekstrem.

c) Uji Efektivitas Pengguna (Force Choice)

Selain aspek teknis, pengujian sistem juga dilakukan terhadap pengguna akhir untuk menilai sejauh mana sistem mudah digunakan, efektif, dan memberikan rasa aman. Pengujian ini menggunakan metode force choice, yaitu teknik survei di mana setiap responden dihadapkan pada dua pilihan jawaban yang berbeda, dan mereka harus memilih salah satu. Metode ini digunakan untuk menghindari bias sosial dan mendapatkan preferensi pengguna yang sesungguhnya.

Setiap pertanyaan terdiri dari dua pernyataan yang mewakili dua aspek berbeda seperti usability, security, responsiveness, UI/UX, accuracy, notification, informational, dan camera. Jumlah pertanyaan yang diberikan sebanyak 16 item, dengan jumlah responden 6 orang pengguna sepeda motor. Data yang diperoleh dari jawaban force choice tersebut dianalisis menggunakan rumus:

$$Pr esentase = \frac{JumlahPemilihAspek}{Total Re sponden} 100\%$$

Tabel 4 Instrumen Uji Pengguna

No	Pertanyaan		Aspek A	Aspek B
	Pilihan A	Pilihan B		
1	Sistem mudah digunakan untuk memantau lokasi kendaraan.	Sistem memiliki tampilan yang menarik dan nyaman digunakan.	Usability	UI/UX
2	Notifikasi saat kendaraan keluar dari zona aman sangat membantu.	Notifikasi dari sistem mudah dipahami dan tidak membingungkan.	Notification	Informational
3	Alarm otomatis meningkatkan keamanan kendaraan.	Kamera dapat mengambil gambar saat kendaraan keluar dari zona aman.	Security	Camera
4	Fitur geofencing berjalan dengan baik dan akurat.	Informasi yang diberikan sistem akurat dan mudah dipahami.	Geofencing	Informational
5	Pengaturan zona aman mudah dilakukan.	Web monitoring mudah diakses di berbagai perangkat.	Usability	Accessibility
6	Desain antarmuka web mudah dipahami.	Proses instalasi sistem pada kendaraan mudah dilakukan.	UI/UX	Installation
7	Sistem memberikan rasa aman yang lebih bagi pengguna.	Saya puas secara keseluruhan terhadap sistem pelacakan kendaraan ini.	Security	Satisfaction

No	Pertanyaan		Aspek A	Aspek B
	Pilihan A	Pilihan B		
8	Waktu respon sistem terhadap perubahan lokasi kendaraan cukup cepat.	Integrasi antara GPS, kamera, dan alarm berjalan dengan lancar.	Responsiveness	Integration
9	Sistem mudah digunakan untuk mengatur fitur-fitur pelacakan.	Sistem memberikan data pelacakan yang lengkap dan jelas.	Usability	Informational
10	Notifikasi dikirimkan tepat waktu saat kendaraan keluar zona.	Kamera mengambil gambar kendaraan saat keluar dari zona aman.	Notification	Camera
11	Antarmuka web sangat bersih dan tidak membingungkan.	Sistem dapat digunakan langsung tanpa perlu pelatihan.	UI/UX	Usability
12	Pengguna merasa tenang karena alarm langsung aktif saat kendaraan keluar zona.	Sistem mempermudah pengguna dalam mengetahui posisi terkini kendaraan.	Security	Informational
13	Proses instalasi sistem cepat dan tanpa kendala.	Pengaturan sistem tidak memerlukan pengetahuan teknis tinggi.	Installation	Accessibility
14	Data pelacakan yang diberikan oleh sistem sangat akurat.	Web dapat digunakan secara real-time tanpa lag.	Accuracy	Responsiveness
15	Saya puas dengan kinerja sistem selama digunakan.	Saya akan merekomendasikan sistem ini ke orang lain.	Satisfaction	Recommendation
16	Sistem sangat responsif terhadap setiap perubahan lokasi kendaraan.	Sistem memberi kontrol penuh kepada pengguna atas semua fitur.	Responsiveness	Control

Tabel 5 Hasil Uji Pengguna

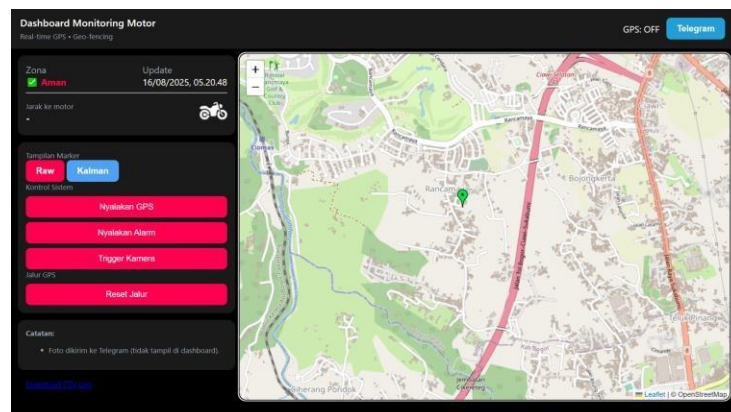
Dimensi	Jumlah Jawaban Aspek	Persentase (%)
Usability	18	18,75
Notification	7	7,29
Security	15	15,63
Geofencing	2	2,08
UI/UX	7	7,29
Installation	6	6,25
Accuracy	4	4,17
Satisfaction	7	7,29

Dimensi	Jumlah Jawaban Aspek	Persentase (%)
Responsiveness	5	5,21
Informational	8	8,33
Camera	4	4,17
Accessibility	3	3,13
Integration	6	6,25
Recommendation	1	1,04
Control	3	3,13
Total Jawaban Pertanyaan	96	

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

Penelitian ini menghasilkan sistem pelacakan kendaraan bermotor roda dua berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan ESP32 Dev Board, GPS NEO-6M, ESP32-CAM, dan buzzer, serta dashboard web monitoring berbasis protokol MQTT. Sistem ini mampu menampilkan posisi kendaraan secara real-time, memberikan peringatan otomatis saat kendaraan keluar dari zona aman (geofencing), serta mengirimkan notifikasi dan foto kondisi kendaraan ke aplikasi Telegram. Berikut ini gambar dari dashboard web monitoring



Gambar 8 Halaman Dashboard Sistem Monitoring

Sistem juga menyediakan opsi download file CSV untuk menyimpan riwayat posisi kendaraan. Fitur ini digunakan untuk melakukan perhitungan error dan RMSE setelah proses pengujian lapangan.

a) Hasil Analisis GPS dan Kalman Filter

Sistem menggunakan Kalman Filter untuk memproses data GPS yang diperoleh dari modul gps neo-6m agar lebih akurat dan mengurangi efek noise. Berikut langkah-langkah implementasinya:

1) Inisialisasi Nilai Awal:

```
double lat_est = 0.0, lng_est = 0.0; // Estimasi awal posisi
double err_est_lat = 1.0, err_est_lng = 1.0; // Error awal estimasi
const double q = 0.0001; // Process noise (Q)
const double r = 0.01; // Measurement noise (R)
```

Variabel lat_est dan lng_est adalah estimasi awal posisi GPS, sedangkan q dan r masing-masing merepresentasikan proses noise dan measurement noise.

2) Perhitungan Kalman Gain:

$$K_k = \frac{P_{(k|k-1)}}{P_{(k|k-1)} + R}$$

Implementasi kode:

```
double k_gain = err_est / (err_est + r);
```

Nilai Kalman Gain menentukan tingkat kepercayaan sistem terhadap data baru dari sensor GPS dibanding hasil prediksi sebelumnya.

3) Update Estimasi:

$$x(k|k) = x(k|k - 1) + K_k \cdot (z_k - H \cdot x(k|k - 1))$$

Implementasi Kode:

```
estimate += k_gain * (measurement - estimate);
```

Estimasi posisi (estimate) diperbarui berdasarkan data GPS baru (measurement) dan bobot Kalman Gain. Dalam sistem ini H=1 karena pengukuran langsung mewakili keadaan.

4) Update Kovarian Error:

$$P_{(k|k)} = (I - K_k \cdot H) \cdot P_{(k|k-1)}$$

Implementasi kode:

```
err_est = (1.0 - k_gain) * err_est + fabs(estimate - measurement) * q;
```

- (1) $(1 - k_gain) * err_est$, merupakan bagian rumus klasik untuk memperbarui nilai kovarian error.
- (2) $fabs(estimate - measurement) * q$, digunakan untuk melakukan adaptive tuning, agar system menyesuaikan level kepercayaan terhadap sensor berdasarkan seberapa besar selisih antara hasil prediksi dan data GPS

5) Fungsi Lengkap Kalman filter:

```
double kalmanUpdate(double measurement, double& estimate,
double& err_est) {
double k_gain = err_est / (err_est + r);           //
Kalman Gain
estimate += k_gain * (measurement - estimate);     //
Update estimasi
err_est = (1.0 - k_gain) * err_est + fabs(estimate -
measurement) * q; // Update error adaptif
return estimate;
}
```

Proses ini dilakukan untuk setiap data koordinat yang diterima dari GPS (latitude dan longitude). Hasil akhir yang diperoleh berupa data posisi yang lebih halus dan presisi.

Tabel 6 GPS & Kalman Filter

waktu	lat_raw	lon_raw	lat_kalman	lon_kalman	error m	status zona
2025-08-27T04:09:12	-6,593090833	106,7901357	-6,593087477	106,7901347	0,389175142	Aman
2025-08-27T04:09:42	-6,5931085	106,7901468	-6,59310798	106,7901463	0,079960226	Aman
2025-08-27T04:10:12	-6,5931085	106,7901468	-6,593108494	106,7901468	0,00066717	Aman
2025-08-27T04:10:43	-6,592752833	106,7901673	-6,59275713	106,7901692	0,521865916	Bahaya
2025-08-27T04:11:13	-6,592788833	106,7901665	-6,592782979	106,7901711	0,825770306	Bahaya
2025-08-27T04:11:43	-6,5927785	106,7901238	-6,592779787	106,7901209	0,350846164	Bahaya
2025-08-27T04:12:14	-6,592791667	106,7901542	-6,592789927	106,7901515	0,355502275	Bahaya
2025-08-27T04:12:44	-6,592787833	106,7901372	-6,592786467	106,7901403	0,374601148	Bahaya
2025-08-27T04:13:15	-6,592783167	106,7901482	-6,592779389	106,7901541	0,775375751	Bahaya
2025-08-27T04:13:45	-6,592852833	106,790126	-6,592847258	106,7901198	0,923747504	Bahaya
2025-08-27T04:14:15	-6,593034833	106,7900655	-6,593029186	106,7900667	0,64175587	Aman
2025-08-27T04:14:46	-6,5931055	106,7901073	-6,593103615	106,7901063	0,23692719	Aman
2025-08-27T04:15:16	-6,593137667	106,790131	-6,593137976	106,7901271	0,432160256	Aman
2025-08-27T04:15:46	-6,593088667	106,7901272	-6,59308824	106,7901277	0,072833377	Aman
2025-08-27T04:16:17	-6,593083	106,7901457	-6,593081799	106,7901467	0,173307843	Aman
2025-08-27T04:16:48	-6,593095333	106,7901673	-6,593094799	106,7901657	0,186443335	Aman
2025-08-27T04:17:18	-6,593078833	106,790177	-6,593079492	106,7901772	0,076535209	Aman
2025-08-27T04:17:49	-6,5931035	106,7901843	-6,593102381	106,7901874	0,364330505	Aman

waktu	lat_raw	lon_raw	lat_kalman	lon_kalman	error m	status zona
2025-08-27T04:18:19	-6,593107167	106,7901532	-6,593107008	106,790152	0,133725358	Aman
2025-08-27T04:18:50	-6,593096667	106,7901582	-6,593094702	106,7901609	0,369714698	Aman
2025-08-27T04:19:10	-6,593105	106,7901623	-6,593105661	106,7901607	0,191409473	Aman
2025-08-27T04:20:49	-6,593081	106,7901868	-6,593082674	106,7901868	0,186140307	Aman
2025-08-27T04:21:19	-6,593059167	106,7901893	-6,593057818	106,79019	0,168757906	Aman
2025-08-27T04:21:49	-6,593094333	106,790214	-6,593094101	106,7902138	0,03396394	Aman
2025-08-27T04:22:21	-6,5931075	106,7902093	-6,593106873	106,7902095	0,073135641	Aman
2025-08-27T04:22:51	-6,593112667	106,7902097	-6,5931129	106,790207	0,299364006	Aman
2025-08-27T04:23:21	-6,59314	106,7902135	-6,593138971	106,7902145	0,159038205	Aman
2025-08-27T04:23:49	-6,593135833	106,7902322	-6,593134566	106,7902308	0,209195751	Aman
2025-08-27T04:24:19	-6,593123833	106,7902333	-6,593125017	106,7902335	0,133495457	Aman
2025-08-27T04:24:50	-6,5931015	106,7902148	-6,593103766	106,7902166	0,320967248	Aman
Error Maximum					0,923747504	
RMSE					0,381235183	
RMSE %					41,27049675	

2. Pembahasan

a) Hasil GPS dan Kalman Filter

Berdasarkan hasil perhitungan tabel 4 , error maksimum sebesar 0,9237 m, sedangkan RMSE sebesar 0,381 m (41,27%), menunjukkan bahwa Kalman Filter berhasil menurunkan fluktuasi data GPS hingga di bawah setengah meter. Nilai error pada tabel diperoleh dengan mengukur jarak antara koordinat GPS mentah (raw) dengan koordinat hasil Kalman Filter menggunakan rumus haversine. Perhitungan dilakukan pada Microsoft Excel dengan formula :

$R = 6.371.000$ m (jari-jari bumi)

lat = lintang (latitude)

lon = bujur (longitude)

$$d = 2.R.\arcsin \sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta_{lat}}{2} \right) + \cos(lat_1) \sin^2 \left(\frac{\Delta_{lon}}{2} \right)}$$

implementasi rumus di excel dituliskan sebagai:

$$= 2 * 6371000 * ASIN(SQRT(SIN(\frac{RADIAN(B2 - D2)^2}{2}) + COS(RADIANS(D2)) * COS(RADIANS(B2)) * SIN(\frac{RADIANS(C2 - B2)^2}{2}))))$$

Setelah nilai error kemudiang dihitung RMSE, error per titik ($y_i - \hat{y}_i$) direpresentasikan oleh hasil perhitungan Haversine perkolom error m. perhitungan RMSE dilakukan di Excel dengan formula :

$$= SQRT(AVERAGE(POWER(F2: F31; 2)))$$

Hasil perhitungan menghasilkan nilai RMSE = 0,381 meter.

Untuk mengetahui tingkat akurasi relative, nilai RMSE dibandingkan dengan error maksimum. Perhitungan dilakukan dengan formula:

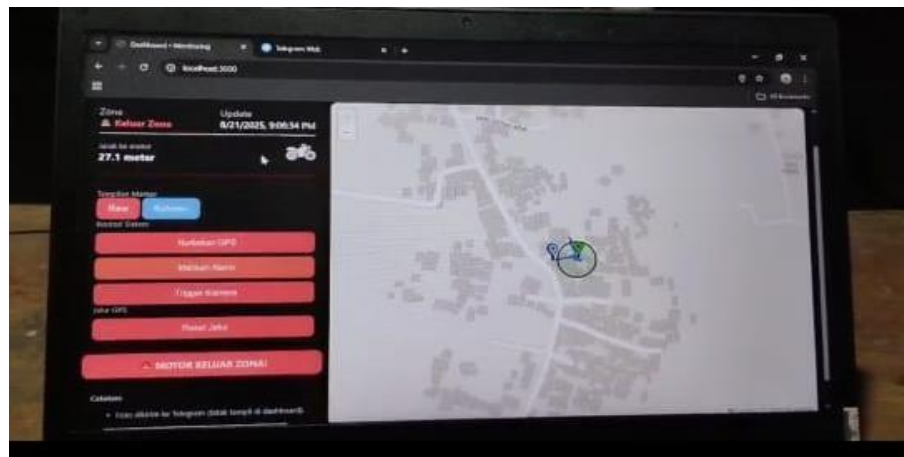
$$= MAX(F2 : F31) \rightarrow \text{errormaksimum}$$

$$= \frac{F33}{F32} * 100 \rightarrow RMSE\%$$

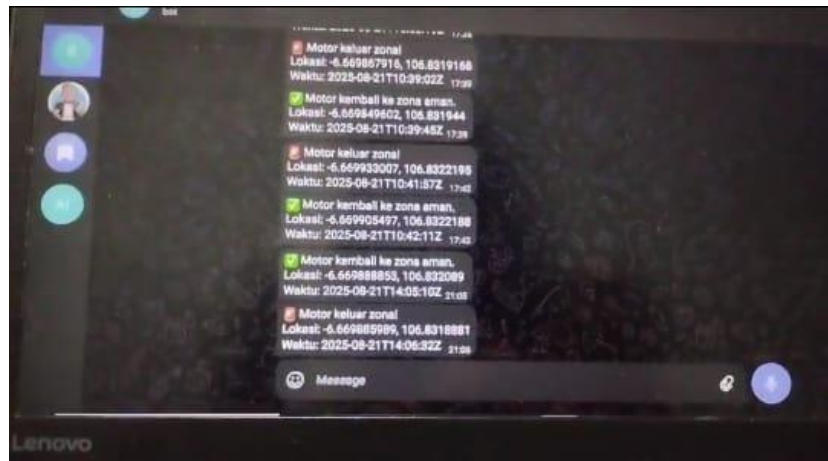
Dari hasil perhitungan diperoleh error maksimum sebesar 0,9237m, dan RMSE 41,27% dari error maksimum. Nilai error setelah penerapan Kalman Filter relatif kecil, yaitu berada pada rentang 0,0006 meter (0,07%) hingga 0,9237 meter (100%). Error terkecil tercatat sebesar 0,0006 meter pada pukul 04:10:12 saat kendaraan berada dalam zona aman, sedangkan error terbesar sebesar 0,9237 meter terjadi pada pukul 04:13:45 ketika kendaraan berada di luar zona aman. Hal ini menunjukkan bahwa Kalman Filter mampu mengurangi variasi data GPS dan menghasilkan estimasi posisi yang lebih stabil.

b) Hasil Pengujian Geofencing

Berdasarkan data pada Tabel 4 GPS & Kalman Filter, sistem pelacakan kendaraan berhasil mendeteksi perubahan status zona secara akurat. Saat kendaraan berada di zona aman, status “Aman” muncul dengan rata-rata error posisi rendah (0,07–0,38 m). Ketika kendaraan keluar dari zona aman, status otomatis berubah menjadi “Bahaya”, buzzer aktif, dan notifikasi terkirim ke aplikasi Telegram dengan waktu respon kurang dari 2 detik. Nilai RMSE sebesar 0,381 m menunjukkan peningkatan akurasi posisi setelah penerapan Kalman Filter, yang efektif mengurangi noise pada data GPS. Secara keseluruhan, sistem geofencing dan notifikasi real-time bekerja sesuai rancangan dan terbukti meningkatkan keamanan kendaraan bermotor berbasis IoT. Berikut gambar notifikasi saat kendaraan keluar zona aman. Gambar 9 jam 9:06PM terdeteksi keluar dan Gambar 10 jam 21:06PM menampilkan peringatan yang muncul di telegram.



Gambar 9 Saat Kendaraan Keluar Dari Zona Aman



Gambar 10 Notifikasi Muncul di Telegram

c) Hasil Uji Coba Ahli dan Pengguna

Dua kategori pengujian dilakukan untuk menilai kelayakan sistem: uji ahli materi dan uji pengguna (force choice).

Uji ahli menunjukkan bahwa sistem dinilai sangat layak (100%) dari segi fungsional dan implementasi fitur.

Kemudian hasil dari uji hasil pengguna, force choice rekapitulasi menunjukkan bahwa aspek usability (18,75%) dan security (15,63%) memperoleh nilai tertinggi, menandakan sistem mudah digunakan dan memberikan rasa aman. Aspek seperti accuracy dan geofencing memperoleh nilai sedang karena bergantung pada kualitas sinyal GPS di area pengujian. Dengan demikian sistem dinilai mudah digunakan (usability tinggi), tampilannya interaktif (UI/UX baik), dan memiliki respon cepat terhadap perubahan kondisi. Kekurangan kecil terletak pada sensitivitas alarm dan akurasi geofencing di area tertutup dengan sinyal GPS lemah. Namun, secara keseluruhan, sistem ini telah memenuhi kriteria fungsional dan kebutuhan pengguna dengan baik.

d) Prototype Sistem

Tahap pembuatan prototype dilakukan untuk merealisasikan rancangan sistem pelacakan kendaraan berbasis IoT menjadi bentuk fungsional. Komponen utama seperti ESP32, GPS NEO-6M, ESP32-CAM, dan buzzer dirakit sesuai desain, sedangkan antarmuka web monitoring dikembangkan dengan HTML, CSS, dan JavaScript menggunakan protokol MQTT sebagai media komunikasi data. Tahap ini bertujuan untuk memastikan kesesuaian antara rancangan dan implementasi sistem sebelum dilakukan pengujian performa lebih lanjut.



Gambar 11 Prototype Sistem

D. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pelacakan kendaraan bermotor roda dua berbasis IoT dengan integrasi antara ESP32, GPS NEO-6M, ESP32-CAM, buzzer, Geofencing dan Telegram API yang bekerja secara real-time melalui web monitoring berbasis Leaflet API. Penerapan Kalman Filter terbukti meningkatkan akurasi koordinat GPS dengan nilai RMSE sebesar 0,381 m, menghasilkan posisi yang lebih stabil dan presisi. Fitur geofencing mampu mendeteksi pergerakan kendaraan keluar dari zona aman dan secara otomatis mengaktifkan alarm serta mengirimkan notifikasi ke Telegram. Hasil uji fungsional dan uji pengguna menunjukkan sistem layak digunakan, mudah dioperasikan, serta efektif dalam meningkatkan keamanan kendaraan.

Untuk pengembangan selanjutnya, sistem disarankan dilengkapi modul GSM (SIM800L) agar dapat beroperasi tanpa jaringan Wi-Fi, serta menambahkan fitur autentikasi pengguna dan algoritma pengenalan objek pada kamera. Uji coba di berbagai kondisi lingkungan dan penggunaan instrumen evaluasi skala Likert juga direkomendasikan untuk memperoleh hasil penilaian yang lebih mendalam.

E. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kusnanto, *Menelusuri Sejarah Alat Transportasi*. Alprin, 2020. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=fn3-DwAAQBAJ>
- [2] M. Trianah, D. W. Saputra, and S. Irnaningsih, "Pengaruh Sejarah Perkembangan Alat Transportasi Darat, Laut, dan Udara di Indonesia serta Dampaknya terhadap Masyarakat," *Semin. Nas. dan Publ. Ilm.*, pp. 2584–2592, 2024.
- [3] K. Polri, "Jumlah Data Kendaraan Per Pulau." [Online]. Available: <http://rc.korlantas.polri.go.id:8900/eri2017/laprekappulau.php>
- [4] A. P. O. Amane *et al.*, *Pemanfaatan Dan Penerapan Internet Of Things (IOT) Di Berbagai Bidang (Studi Kasus & Implementasi Pemanfaatan serta Penerapan IoT dalam berbagai Bidang)*. 2023. [Online]. Available: www.sonpedia.com
- [5] Utomo Budiyanto, Titin Fatimah, and Pipin Farida Ariyani, "Pengenalan Internet of Things (IoT) sebagai Upaya Peningkatan Kualitas Pegawai Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan," *KRESNA J. Ris. dan Pengabd. Masy.*, vol. 1, no. 1, pp. 82–86, 2021, doi: 10.36080/jk.v1i1.6.
- [6] Y. Shevchenko and U. D. Reips, "Geofencing in location-based behavioral research: Methodology, challenges, and implementation," *Behav. Res. Methods*, vol. 56, no. 7, pp. 6411–6439, 2024, doi: 10.3758/s13428-023-02213-2.
- [7] A. H. H. Jabastian, K. Erwansyah, M. S. Wahyuni, and S. N. Arif, "Monitoring Anti Maling Sepeda Motor Menggunakan IOT Berbasis NodeMCU," *J. Sist. Komput. Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, vol. 2, no. 1, pp. 34–42, 2023, doi: 10.53513/jursik.v2i1.7045.
- [8] N. A. Setyawan, A. Mustofa, and A. A. Kurdianto, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Sepeda Motor Berbasis Internet of Things," *Techno Bahari*, vol. 11, no. 1, pp. 1–6, 2024, doi: 10.52234/tb.v11i1.139.
- [9] A. R. M. Maldini, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Kendaraan Bermotor Roda Dua Berbasis Internet of Things dengan Modul NodeMCU ESP8266 V3 dan ESP32-CAM," *Electrician*, vol. 16, no. 2, pp. 215–222, 2022, doi: 10.23960/elc.v16n2.2291.
- [10] M. Waruwu, "Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan," *J. Ilm. Profesi Pendidik.*, vol. 9, no. 2, pp. 1220–1230, 2024, doi: 10.29303/jjpp.v9i2.2141.
- [11] Felix Govaers, "Introduction_and_Implementations_of_the."