

Penerapan Internet of Things (IoT) Untuk Pelacakan Keberadaan Kendaraan Bermotor Roda Dua

Dhea Adinda Irawan¹, Faustinus Respati Dwi Febriantoro²

Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Informatika dan Komputer, Universitas Binaniaga Indonesia
 E-mail: dheadinda195@gmail.com

*Corresponding Author

ABSTRACT

The increase in motor vehicle theft cases in Indonesia indicates the need for a more effective security system compared to conventional methods. This study designs and implements a vehicle tracking system based on the Internet of Things (IoT) using the ESP32 microcontroller, NEO-6M GPS module, ESP32-CAM, and buzzer, equipped with a geofencing feature to detect vehicle movement outside the safe zone. The system utilizes the Kalman Filter algorithm to improve GPS coordinate accuracy and uses the MQTT protocol as the communication medium between IoT devices. Warning notifications are sent through the buzzer, image capture, as well as integration with Telegram application and web monitoring based on the Leaflet API. Test results show that the Kalman Filter effectively reduces GPS position error, the geofencing feature works well in distinguishing between "safe" and "danger" conditions, and user tests assess the system as easy to use overall and effective in enhancing vehicle security.

Keywords: internet of things, GPS, ESP32, ESP32-CAM, geofencing, MQTT, kalman filter, telegram.

ABSTRAK

Peningkatan kasus pencurian kendaraan bermotor roda dua di Indonesia menunjukkan perlunya sistem keamanan yang lebih efektif dibandingkan metode konvensional. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem pelacakan kendaraan berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan mikrokontroler ESP32, modul GPS NEO-6M, ESP32-CAM, dan buzzer, yang dilengkapi dengan fitur geofencing untuk mendeteksi pergerakan kendaraan keluar dari zona aman. Sistem ini memanfaatkan algoritma Kalman Filter untuk meningkatkan akurasi koordinat GPS dan menggunakan protokol MQTT sebagai media komunikasi antar perangkat IoT. Notifikasi peringatan dikirimkan melalui buzzer, pengambilan gambar, serta integrasi dengan aplikasi Telegram dan web monitoring berbasis Leaflet API. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Kalman Filter mampu menurunkan error posisi GPS, fitur geofencing berjalan dengan baik dalam membedakan kondisi "aman" dan "bahaya", uji pengguna menilai sistem secara keseluruhan mudah digunakan dan efektif dalam meningkatkan keamanan kendaraan.

Kata Kunci: internet of things, GPS, ESP32, ESP32-CAM, geofencing, MQTT, kalman filter, telegram.

A. PENDAHULUAN

Keberadaan sepeda motor di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan kompleksitas kebutuhan transportasi. Berdasarkan data dari Korlantas Polri yang diperoleh pada 29 Agustus 2024, jumlah sepeda motor di Indonesia telah mencapai lebih dari 137 juta unit. Saat ini, Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah sepeda motor terbanyak di dunia. Meningkatnya jumlah sepeda motor ini perlu diimbangi dengan peningkatan kesadaran yang lebih tinggi akan aspek keamanan kendaraan. Berikut ini Tabel 1.1 menunjukkan jumlah kendaraan motor di beberapa provinsi di Indonesia.

Tabel 1. Jumlah Kendaraan di Setiap Provinsi

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

Data update tanggal 1 november 2025 dari Electronic Registration Identification (ERI) Korlantas polri. 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). Dalam hal keamanan motor, sistem-sistem keamanan seperti kunci kontak dan kunci cakram sering kali tidak cukup efektif untuk menghadapi cara kerja pelaku pencurian yang semakin cerdas dan terorganisir. Banyak pemilik kendaraan merasa cemas dan khawatir terhadap kendaraan mereka, terutama saat parkir di tempat umum atau di lokasi yang minim pengawasan. Hal ini menunjukkan bahwa keamanan dan pelacakan kendaraan secara *real-time*, menjadi suatu kebutuhan yang mendesak. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi yang inovatif untuk mengembangkan sistem keamanan sepeda motor yang lebih efektif.

Dengan kemajuan teknologi, IoT muncul sebagai solusi inovatif dalam meningkatkan keamanan kendaraan bermotor roda dua. Dalam buku *Pemanfaatan & Penerapan Internet of Things (IoT) Di Berbagai Bidang* oleh (Amane et

al., 2023, p. 1), Istilah IoT mulai dikenal luas pada tahun 1999 saat pertama kali disebutkan oleh Kevin Ashton, pendiri dan direktur eksekutif Auto-ID Center di Massachusetts Institute of Technology (MIT), (Abur, 2019).

IoT memungkinkan perangkat fisik untuk saling terhubung melalui jaringan internet. Teknologi IoT ini mampu berbagi data dan berinteraksi satu sama lain secara otomatis dan memungkinkan perangkat elektronik dikendalikan dari jarak jauh. IoT terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk perangkat seperti sensor, aktuator, jaringan komunikasi, platform data, dan aplikasi. “*IoT network simply interconnects devices or things which are embedded with software, sensors, actuators, network connectivity and other electronics that allows them to exchange and assemble data to make them responsive*” (Sai & Lokanadhamanikanta, 2023, p. 83). Dalam konteks transportasi, penerapan teknologi IoT memungkinkan pemantauan kendaraan secara *real-time*, pengumpulan data lokasi, dan pengambilan keputusan berbasis data guna meningkatkan keamanan kendaraan. Menurut (Utomo Budiyanto et al., 2021, p. 83), IoT telah diterapkan di berbagai sektor dengan banyak pengguna. Pada bidang pemerintahan, IoT dapat dimanfaatkan untuk pengembangan *smart city*, *smart transportation*, dan *smart infrastructure*. Selain itu, IoT juga berpotensi dapat diterapkan pada dunia pendidikan untuk meningkatkan cara pembelajaran yang lebih efektif dan efisien. Di sektor industri, pertanian, dan peternakan, IoT dimanfaatkan untuk meningkatkan kapasitas produksi dan penjualan. Sementara itu, pada bidang kesehatan, *digital healthcare* berkembang pesat dengan memanfaatkan IoT.

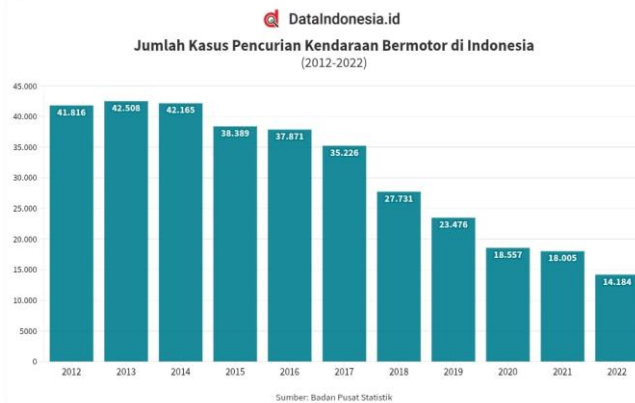
(A. Wibowo, 2023, p. 26) dalam bukunya *Internet of Things (IoT) dalam Ekonomi dan Bisnis Digital* menyatakan bahwa Inti dari IoT yang muncul adalah menghubungkan dunia fisik dengan dunia virtual. Oleh karena itu, perangkat keras informasi dan komunikasi (TIK), menjadi pusat dalam pengembangan IoT. Ini dapat mencakup berbagai komponen berupa sensor, mikroprosesor, chip RFID dan antena, serta perangkat lengkap seperti pelacak kebugaran, termostat, penerangan, meteran pintar, dan kunci pintu. Bagian ini membahas perusahaan yang memproduksi perangkat keras IoT untuk kategori berikut: rumah pintar; dapat dipakai; industri/M2M; kota pintar. Salah satu komponen utama dalam sistem IoT untuk keamanan kendaraan adalah teknologi GPS (*Global Positioning System*). Teknologi ini memungkinkan perangkat untuk menentukan posisi kendaraan secara akurat dengan menggunakan sinyal satelit yang ada. Dalam konteks pelacakan kendaraan, teknologi GPS dapat digunakan untuk memantau pergerakan kendaraan secara *real-time*, mendapatkan informasi yang akurat mengenai lokasi dan arah kendaraan.

Menurut (Amane et al., 2023), di era modern ini, *Global Positioning System* (GPS) sudah tidak asing lagi dan menjadi hal yang umum. Dimana untuk mengetahui letak atau posisi dari suatu objek hanya diperlukan GPS, dari GPS tersebut mengirimkan titik koordinat yang kemudian dari titik koordinat tersebut dapat diketahui lokasinya, dengan memanfaatkan fitur geolokasi. Dalam hal ini, GPS dapat dimanfaatkan untuk perangkat cerdas IoT dan digunakan untuk mengetahui tempat suatu objek dengan menggabungkan GPS dan mikrokontroler. GPS akan digunakan sebagai penentu lokasi yang terintegrasi dengan NodeMCU sebagai processornya. Menurut (Shevchenko & Reips, 2024, p. 6412) menjelaskan bahwa Sistem Pemosisian Global (GPS) telah dikembangkan dan menjadi fitur standar pada sebagian besar ponsel pintar. Keterbatasan yang ada pada GPS, seperti sinyal yang lemah di dalam ruangan atau dekat Gedung, waktu lama untuk memperoleh posisi awal, dan konsumsi baterai yang tinggi, telah diperbaiki melalui pengembangan sistem pemetaan hibrida yang menggabungkan GPS, Wi-Fi, dan pemetaan berbasis Cell-ID. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam penentuan lokasi. Dalam upaya meningkatkan keamanan sepeda motor, sejumlah penelitian telah dilakukan terkait penerapan IoT. Salah satu studi oleh (Jabastian et al., 2023), menunjukkan bahwa penerapan sistem monitoring berbasis IoT dengan menggunakan NodeMCU efektif dalam meningkatkan keamanan sepeda motor. IoT memungkinkan berbagai perangkat saling terhubung melalui internet dan menciptakan sistem yang lebih efisien untuk mencegah pencurian kendaraan motor.

(Setyawan et al., 2024) dalam penelitian yang dilakukan telah menunjukkan bahwa sistem keamanan kendaraan motor dengan menggunakan GPS dapat memberikan pengamanan ganda pada sepeda motor dengan bantuan teknologi IoT. Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini mampu mengendalikan sepeda motor dari jarak jauh melalui internet serta memberikan notifikasi dan informasi lokasi secara *real-time*. Ini sangat membantu dalam mencegah pencurian kendaraan bermotor. (Maldini, 2022) dalam penelitian yang dilakukan telah menunjukkan bahwa sistem keamanan kendaraan bermotor berbasis IoT dengan menggunakan NodeMCU ESP8266 V3, ESP32-CAM, dan GPS dapat meningkatkan keamanan kendaraan dengan berbagai fitur. Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini mampu mengendalikan kendaraan dari jarak jauh melalui internet, mengirimkan notifikasi ke pemilik melalui aplikasi Telegram saat kendaraan dinyalakan, serta menampilkan informasi lokasi secara *real-time*. Selain itu, sistem juga dapat mengambil gambar pelaku pencurian, sehingga sangat membantu dalam mencegah tindak pencurian kendaraan bermotor. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh (Hidayat & Ardiani, 2023), menunjukan bahwa sistem pelacakan kendaraan berbasis IoT yang terintegrasi dengan web dapat melacak kendaraan dengan keberhasilan 80%. Waktu respon untuk menerima data satelit sekitar 1-5 detik, sedangkan fitur untuk mematikan kendaraan dari jarak jauh membutuhkan waktu 5-10 detik karena proses komunikasi dengan GPS. (Edham et al., 2024, p. 30) menyimpulkan bahwa sistem pelacakan kendaraan berbasis GPS dan GSM yang dikembangkan dapat memberikan informasi lokasi kendaraan secara *real-time* kepada pengguna melalui modem GSM. Sistem ini menunjukkan bahwa pemantauan kendaraan secara langsung sangat mungkin diterapkan untuk meningkatkan keamanan kendaraan pribadi, sistem transportasi umum, dan manajemen armada. Dengan menggabungkan teknologi GPS dan GSM, pengguna dapat memperoleh informasi lokasi yang akurat dan memantau kendaraan dengan lebih efisien.

Dalam penelitian ini pengembangan fitur tambahan seperti *geofencing* dapat menjadi fitur penting dalam efektivitas sistem keamanan berbasis IoT. Fitur *geofencing* ini memungkinkan pemilik kendaraan untuk menetapkan zona aman kendaraan mereka. Dengan fitur ini pemilik akan mendapatkan notifikasi peringatan secara otomatis jika kendaraan keluar dari zona aman yang telah ditentukan, sistem akan secara otomatis menyalakan alarm dan mengirimkan notifikasi kepada pemilik. Fitur ini juga dapat diintegrasikan dengan sensor kamera agar dapat memperkuat sistem keamanan dengan menangkap gambar pengendara yang tidak sah jika terjadi aktivitas mencurigakan, sehingga dapat memberikan bukti berupa foto pelaku jika terjadi pencurian. Sistem pelacakan berbasis IoT ini juga diintegrasikan dengan aplikasi seluler atau platform berbasis web untuk memberikan kemudahan akses kepada pengguna. (Kumar et al., 2023, p. 294), “*Geofencing creates a virtual border such that no unwanted devices can get access to the information being passed in the drone system. It generates a response whenever the unauthorized drone enters the protected zone and then the geofencing system prevents these commercial drones from entering or fly-ing or taking off into the geofenced areas*”, jadi menurut Kumar, *geofencing* merupakan teknologi yang digunakan untuk membuat batas virtual di suatu wilayah tertentu, dengan tujuan untuk membatasi akses perangkat yang tidak diizinkan terhadap data atau informasi yang dikirimkan oleh sistem luar. (Erlinda Tehuayo et al., 2024), *Geofencing* dan *beacon* merupakan teknologi utama dalam pemasaran berbasis lokasi. *Geofencing* menciptakan batas virtual di sekitar area tertentu dan mengirimkan pesan kepada pengguna saat mereka memasuki atau meninggalkan area tersebut. Disisi lain, menggunakan Bluetooth Low Energy (BLE) untuk mengirimkan sinyal ke perangkat seluler yang berada dalam jangkauan, memungkinkan interaksi yang lebih tepat dan relevan dengan pengguna.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem keamanan kendaraan bermotor berbasis IoT dengan integrasi GPS dengan fitur *geofencing* yang apabila kendaraan keluar dari zona aman maka sistem secara otomatis akan mengaktifkan buzzer untuk peringatan. Selain itu tambahan fitur kamera untuk menangkap gambar, dan Notifikasi peringatan serta gambar hasil tangkapan kamera akan dikirimkan ke pengguna melalui aplikasi Telegram untuk meningkatkan respon cepat terhadap potensi pencurian. Dengan demikian judul penelitian ini adalah “**Penerapan Internet of Things (IoT) Untuk Pelacakan Keberadaan Kendaraan Bermotor Roda Dua**”. Sistem ini diharapkan dapat memberikan solusi keamanan yang lebih baik dan membantu meningkatkan keamanan kendaraan motor serta memberikan kemudahan bagi pemilik kendaraan dalam melacak keberadaan kendaraannya. Banyaknya kasus pencurian sepeda motor yang beredar di berita serta artikel online menjadi salah satu tantangan serius bagi pemilik kendaraan. Data dari BPS pada tahun 2022 mencatat terjadinya 14.184 kasus pencurian kendaraan bermotor (Pratiwi, Data Indonesia.id, 15 Januari 2024). Dari data menunjukkan bahwa ancaman terhadap pencurian kendaraan motor masih tinggi meskipun terjadi penurunan dari tahun sebelumnya. Berikut ini gambar diagram dari jumlah kasus pencurian kendaraan bermotor di Indonesia (Pratiwi, Data Indonesia.id, 15 Januari 2024).



Gambar 1. Diagram jumlah kasus pencurian kendaraan bermotor

Salah satu contoh kasus pencurian sepeda motor terjadi di Jawa Barat. “Polres Garut (Polsek Malangbong) berhasil menangkap MFK (24), yang diduga sebagai pelaku pencurian kendaraan bermotor di Desa Campaka, Kecamatan Malangbong, Kabupaten Garut. Aksi pelaku berhasil digagalkan oleh warga setempat yang menyaksikan perbuatannya. Kejadian ini terjadi pada hari Jumat, 24 Januari 2025, sekitar pukul 11.10 WIB. Petugas menemukan barang bukti berupa 1 unit sepeda motor honda genio, 1 kunci leter Y, 2 mata kunci yang telah diruncingkan, dan 3 kunci kontak”, (Sumber: tribatanews.jabar.polri.go.id, diakses pada 24 Januari 2025). Adapun kasus yang terjadi di Kabupaten Bogor yang dilaporkan dalam artikel berita yang dipublikasikan oleh radar bogor, “Sepeda motor dengan merk Yamaha NMAX milik warga Kecamatan Parung, Kabupaten Bogor hilang dicuri oleh pelaku pencurian motor, pencurian tersebut terekam oleh kamera CCTV dengan pelaku berjumlah dua orang. Dalam rekaman CCTV pelaku terlihat mendorong motor dari pekarangan rumah korban ke luar dan pelaku mencoba menghidupkan motor dengan menyambung kabel dari bagian bawah motor NMAX tersebut. Selasa (14/1/2025)”, (Sumber: <https://radarbogor.jawapos.com/kabupaten-bogor>, diakses pada 24 Januari 2025).

Adapun hasil wawancara yang dilakukan kepada beberapa pengguna motor, mendapat hasil bahwa sistem konvensional dianggap tidak aman oleh pengguna. Mereka berharap ada sistem keamanan kendaraan bermotor yang dapat memberikan rasa aman berbasis teknologi moder. Berdasarkan permasalahan, terdapat beberapa indikator

masalah yaitu, tingginya angka pencurian kendaraan bermotor roda dua yang terjadi di Indonesia. Kedua, tingkat keamanan kendaraan yang rendah karena sistem keamanan konvensional kunci kontak yang mudah dibobol oleh pelaku kejahatan. Berdasarkan indikator masalah, maka identifikasi masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Sistem keamanan konvensional (kunci kontak) pada motor mudah dibobol dan rentan terhadap risiko pencurian.
2. Data lokasi yang diperoleh dari GPS pada sistem IoT sering tidak akurat sehingga perlu ditingkatkan dengan algoritma penyangar data.

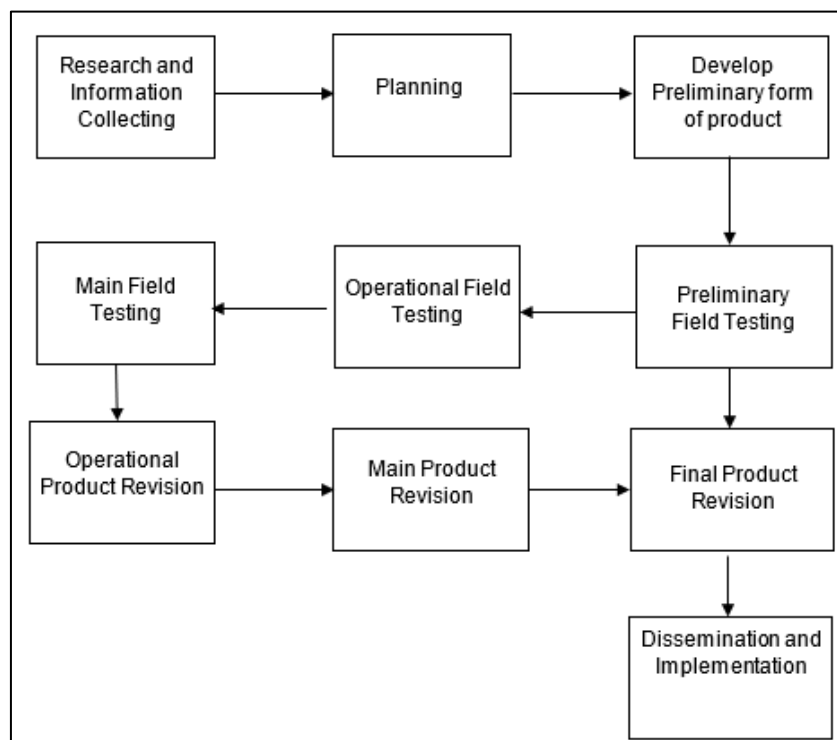
Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan, keamanan sepeda motor konvensional belum efektif dalam menghadapi metode pencurian yang semakin cerdas. Selain itu, kurangnya integrasi fitur tambahan yang menggabungkan beberapa fitur seperti *geofencing*, kamera, dan kendali alarm untuk menciptakan sistem keamanan yang lebih responsif dan efektif.

Pertanyaan penelitian yang dapat diajukan berikut bertujuan untuk mengarahkan proses analisis dan implementasi sistem yang diusulkan.

1. Bagaimana merancang sistem keamanan kendaraan bermotor roda dua berbasis IoT dengan mengintegrasikan GPS, buzzer, kamera, dan telegram yang dapat memberikan perlindungan lebih efektif dibandingkan sistem konvensional?
2. Bagaimana meningkatkan akurasi GPS dengan memanfaatkan algoritma Kalman Filter pada sistem berbasis IoT? Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem Keamanan kendaraan bermotor roda dua berbasis IoT yang mengintegrasikan teknologi GPS, *Genfencing*, kamera, alarm, untuk meningkatkan keamanan sepeda motor roda dua dan kenyamanan pemilik kendaraan. Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain:
 1. Merancang sistem pelacakan GPS dengan Kalman Filter untuk mendapatkan hasil yang akurat dari sistem pelacakan keberadaan kendaraan motor roda dua yang dikembangkan
 2. Mengintegrasikan GPS, buzzer, kamera, dan geofencing dalam satu sistem.
 3. Mengembangkan prototipe sistem pelacakan keberadaan kendaraan motor.

B. METODE

Pengertian Research and Development (R&D) yaitu metode penelitian yang digunakan untuk meneliti produk baru dan menguji keefektifan produk tersebut. (Sugiyono, 2020, p. 297). Dalam prosesnya, penelitian ini diawali dengan analisis kebutuhan untuk merancang produk, kemudian dilanjutkan dengan tahapan pengujian agar produk yang dikembangkan dapat berfungsi dan diterima oleh Masyarakat (Sugiyono, 2020, p. 297). Metode ini merupakan metode penelitian yang bersifat longitudinal atau bertahap, bahkan dapat berlangsung dalam jangka waktu yang panjang, tergantung kompleksitas dan cakupan produk yang dikembangkan (Sugiyono, 2020, p. 297). Tahapan model pengembangan menurut Borg & Gall (1983) dalam (Waruwu, 2024, p. 1224) meliputi beberapa tahap yaitu : Research and Information Collecting, Planning, Develop preliminary form of product, Preliminary field testing, main product revision, main field testing, operational product revision, operational field testing, final product revision, dissemination and implementation.



Gambar 2. Tahap Pengembangan R&D

Adapun langkah dalam penelitian ini dengan 3 metode yaitu:

1. Metode Deskriptif, metode ini memuat langkah dari tahap 1 dan 2 sebagai berikut:

- a. Research and Information Collecting, Mengidentifikasi dan mengumpulkan data dari literatur, studi terkait, dan observasi lapangan mengenai sistem pelacakan kendaraan berbasis IoT.
- b. Planning, Merancang sistem keamanan kendaraan yang terintegrasi dengan modul NodeMCU ESP32, GPS, *geofencing*, ESP32-CAM, dan aplikasi Telegram untuk notifikasi.
2. Metode Evaluatif, metode ini memuat langkah dari tahapan 3, sampai dengan 7 sebagai berikut:
 - a. Develop Preliminary Form of Product, Membangun prototipe awal sistem keamanan kendaraan berbasis IoT, mencakup pengaturan modul GPS untuk pelacakan, pengintegrasian ESP32-CAM untuk pengambilan gambar, dan pengaturan notifikasi melalui Telegram.
 - b. Preliminary Field Testing, Menguji prototipe awal pada skala kecil, yaitu sepeda motor dalam lingkungan terbatas, untuk mengidentifikasi kelemahan sistem.
 - c. Main Product Revision, Melakukan perbaikan pada sistem berdasarkan hasil pengujian awal, termasuk meningkatkan responsivitas GPS dan pengaturan zona aman *geofencing*.
 - d. Main Field Testing, Menguji prototipe di lingkungan operasional nyata, seperti area publik atau lokasi tertentu, untuk mengukur efisiensi dan efektivitas sistem.
 - e. Operational Product Revision, Melakukan penyempurnaan akhir sistem berdasarkan hasil pengujian lapangan, termasuk peningkatan fitur alarm, dan pengiriman gambar melalui Telegram.
3. Metode Eksperimental, metode ini memuat langkah dari tahapan 8 sampai dengan 10 sebagai berikut:
 - a. Final Product Revision, Menyempurnakan sistem menjadi versi final yang siap digunakan.
 - b. Operational Field Testing, Mengaplikasikan produk dalam skala lebih luas untuk mengukur efektivitas dan efisiensi sistem secara komprehensif.
 - c. Dissemination and Implementation, Mengimplementasikan sistem secara luas, mendokumentasikan hasil, dan menyediakan panduan penggunaan untuk pengguna akhir.

Penelitian ini terdapat tiga model yang digunakan, yaitu model teoritis, model konseptual, dan model prosedural.

1. Model Kalman Filter

Model teoritis dalam penelitian ini yaitu algoritma Kalman filter yang digunakan untuk memperkirakan kondisi sistem dinamis dari ruang keadaan (state-space) berdasarkan data pengukuran yang mengandung noise. Berdasarkan buku (Felix Govaers, n.d., p. 7) *Introduction and Implementations of the Kalman Filter*, algoritma ini menjelaskan mengenai perkembangan keadaan dari waktu ke waktu. Kalman filter berjalan dalam dua tahap, yaitu tahap prediksi (prediction) dan tahap koreksi (update). Formulasi umum dari Kalman filter tertera di bab II.

Dalam penelitian ini, Kalman filter digunakan untuk menyaring data gps neo-6m yang sering mengalami perubahan posisi yang tidak stabil dan error. Dengan Kalman filter, data posisi kendaraan menjadi lebih akurat, sehingga sistem pelacakan kendaraan berbasis iot dapat berjalan dengan lebih optimal. Berikut ini merupakan Pseudocode dan flowchart dari sistem IoT yang dikembangkan dengan model Kalman Filter.

Pseudocode
<pre> 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 </pre>

```

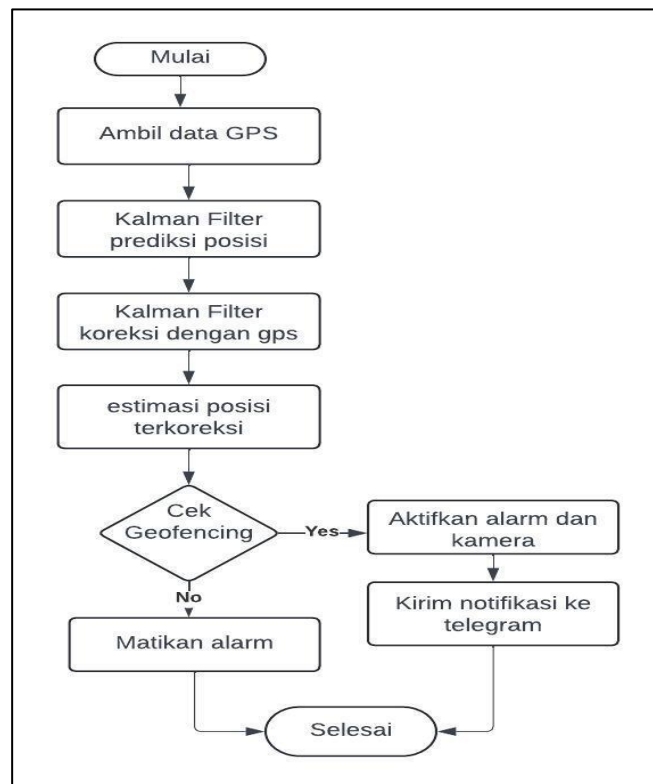
    Status = "Bahaya"
    AktifkanBuzzer()
    Foto = AmbilGambar(ESP32-CAM)
    KirimNotifikasiTelegram(Status, lat_filter, lon_filter, Foto)
  Else
    Status = "Aman"

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

  Delay(1000) // jeda 1 detik
EndWhile

End
  
```

Gambar 3. pseudocode



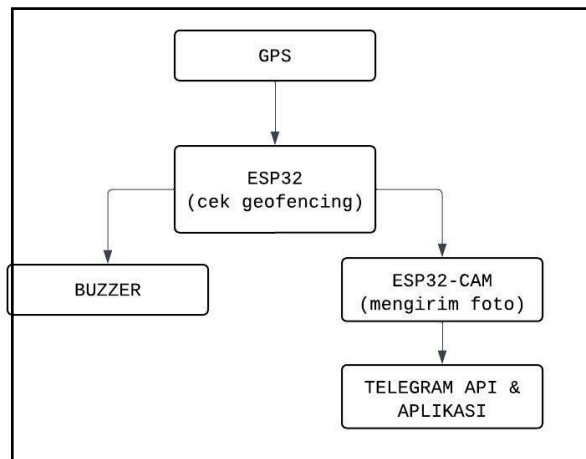
Gambar 4. flowchart

Adapun penjelasan dari gambar diatas yaitu:

- Sistem mengambil data dari gps
- Kalman filter: menginput data mentah gps lalu menghasilkan output berupa posisi terkoreksi dengan nois tersaring.
- 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.

2. Model Konseptual Arsitektur System

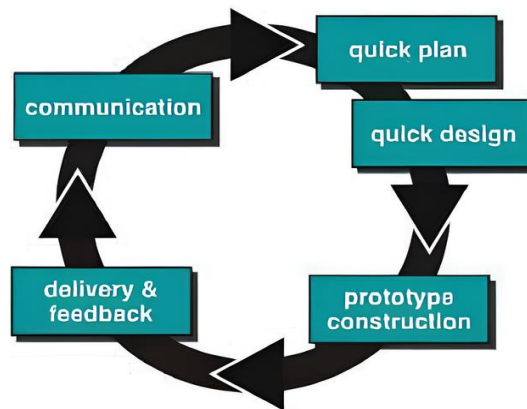
Model konseptual arsitektur sistem adalah representasi abstrak yang menggambarkan hubungan antar komponen dalam sistem sebelum implementasi teknis yang dilakukan. Pada sistem pelacakan kendaraan berbasis IoT, model ini menjelaskan bagaimana sensor, jaringan, server, dan antarmuka pengguna berinteraksi dalam proses pelacakan kendaraan motor secara *real-time* untuk meningkatkan keamanan. Model arsitektur sistem pelacakan kendaraan berbasis IoT terdiri dari beberapa komponen utama yang saling berhubungan dan mendukung fungsi sistem. Berikut diagram alur dari model ini.



Gambar 5. Diagram alur dari Arsitektur Sistem

3. Model Prosedural

Model prosedural dalam penelitian ini mengacu pada metode prototyping. Dasar pemikirannya adalah membuat prototipe secepat mungkin lalu memperoleh umpan balik dari pengguna yang akan memungkinkan prototipe tersebut diperbaiki kembali dengan sangat cepat. Berikut Gambar 3.5 tahapan dari prototyping.



Gambar 6. Tahap Prototyping

Adapun penjelasan dari tahapan dari gambar diatas yaitu:

- Communication*, Tahap communication dilakukan dengan mengidentifikasi kebutuhan pengguna, yaitu pemilik kendaraan bermotor yang membutuhkan sistem pelacakan akurat dengan fitur geofencing dan notifikasi real-time.
- Quick Plan*, Tahap perencanaan cepat, Menentukan komponen utama (ESP32, GPS Neo-6M, ESP32-CAM, buzzer) serta alur sistem dari akuisisi data GPS, penyaringan dengan Kalman Filter, geofencing, hingga notifikasi Telegram.
- Quick Design*, Tahap ini tahap pembuatan sketsa. Membuat diagram arsitektur, flowchart, dan perancangan algoritma Kalman Filter serta logika geofencing untuk menentukan status aman/bahaya.
- Construction*, Merakit perangkat keras, mengembangkan program ESP32 untuk GPS, Kalman Filter, geofencing, notifikasi Telegram, dan fitur kamera manual. Dilakukan uji coba awal di lingkungan terkontrol.
- Delivery & Feedback*, Menguji sistem di lapangan dengan skenario kendaraan masuk/keluar zona aman. Mengumpulkan data error GPS, status zona, waktu respon, serta masukan pengguna untuk perbaikan hingga produk akhir.

4. Jenis Data

Pada penelitian ini ada dua jenis data yaitu, kuantitatif dan kualitatif. kuantitatif adalah menyelidiki sistematis menggunakan teknik statistik atau komputasi untuk mengumpulkan dan menganalisis data numerik, dengan fokus pada objektivitas dan generalisasi kesimpulan. Sedangkan penelitian kualitatif berfokus pada pemahaman mendalam tentang pertemuan manusia, perilaku, dan kejadian sosial, menggunakan data non numerik seperti wawancara, observasi, dan analisis tekstual untuk mengeksplorasi makna dan konteks sosial. (Ardyan et al., 2023, pp. 9–11) Jenis data yang akan dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi:

- Data Kuantitatif:
 - Data koordinat GPS (latitude, longitude) dari modul GPS Neo-6M, baik data mentah maupun hasil perbaikan dengan Kalman Filter yang dicatat dalam format CSV.

- 2) Data error GPS, yaitu selisih antara data raw GPS dengan hasil Kalman Filter yang akan dihitung menggunakan Root Mean Square Error (RMSE).
 - 3) Data geofencing: status kendaraan dalam kondisi “aman” atau “bahaya” berdasarkan posisi relatif terhadap zona yang ditentukan.
- b. Data Kualitatif:
- (1) Validasi ahli materi, berupa penilaian ahli terhadap rancangan sistem, instrumen, dan metode. Data ini diukur dengan skala Guttman untuk mendapatkan validitas.
 - (2) Respon pengguna, berupa umpan balik pengguna mengenai kemudahan penggunaan, efektivitas, serta kepuasan terhadap sistem melalui kuesioner forced choice.

C. PEMBAHASAN

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari ESP32 Dev Board sebagai *mikrokontroler* utama (pengendali utama), modul GPS NEO-6M untuk memperoleh data koordinat, ESP32-CAM untuk pengambilan gambar, dan buzzer sebagai indikator peringatan. Analisis semua perangkat keras dirakit berdasarkan rancangan sistem agar sesuai dengan tujuan penelitian. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE untuk pemrograman *mikrokontroler* ESP32 dan ESP32-CAM, serta web monitoring yang dibangun menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript dengan dukungan protokol MQTT sebagai media komunikasi data secara real-time baik dari web monitoring ke perangkat IoT maupun sebaliknya. Peta lokasi ditampilkan menggunakan API Leaflet yang terhubung ke OpenStreetMap, sehingga pengguna dapat melihat posisi kendaraan secara langsung. Selain ditampilkan di peta, data koordinat ini juga disimpan dalam file CSV agar dapat digunakan untuk perbandingan akurasi dan analisis lebih lanjut setelah pengujian.

1. Analisis GPS dan Kalman Filter

Flowchart penerapan algoritma Kalman Filter yang ditampilkan pada Bab III Gambar 3.3 flowchart, menjelaskan langkah-langkah sistem mulai dari pembacaan data GPS, pemrosesan dengan Kalman Filter untuk mereduksi noise, hingga penggunaan hasil estimasi untuk proses haversoii. Jika posisi kendaraan keluar dari zona aman, sistem memicu buzzer dan ESP32-CAM untuk mengirimkan notifikasi dan gambar melalui Telegram. Dengan demikian, penerapan flowchart tersebut menjadi dasar dari analisis GPS dan Kalman Filter yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 Analisis GPS dan Kalman Filter.

a. Analisis GPS

Pengambilan data koordinat GPS menggunakan modul gps neo-6m. Data yang diperoleh berupa koordinat lintang (latitude) dan bujur (longitude) dalam bentuk data mentah (raw) data tersaji di tabel 4.1. Untuk mengetahui akurasi GPS, dilakukan perhitungan selisih antara data GPS mentah dengan hasil estimasi Kalman Filter menggunakan rumus Haversine.

b. Analisis Kalman filter

Kalman Filter digunakan untuk menyaring data posisi GPS agar lebih stabil dan akurat. Prosesnya terdiri dari:

1) Inisialisasi nilai awal

Kode implementasi:

```
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)
```

Penjelasan:

- (a) Variabel `lat_est` dan `lng_est` menyatakan nilai estimasi awal dari posisi GPS.
- (b) Variabel `err_est_lat` dan `err_est_lng` merupakan perkiraan awal tingkat kesalahan estimasi (P_0).
- (c) Nilai `q` merepresentasikan proses noise covariance, yaitu besarnya gangguan alami dari sistem
- (d) Nilai `r` merepresentasikan measurement noise covariance, yaitu tingkat gangguan dari hasil pengukuran sensor GPS.
- (e) Tahapan ini ada di bab II, $x_{(k|k-1)} = F \cdot x_{(k-1|k-1)} + B \cdot u_k$

2) Perhitungan Kalman gain

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

3) Kode implementasi :

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

Kalman Gain menentukan seberapa besar apabila noise pengukuran (r) kecil, sistem lebih mempercayai data sensor. Sebaliknya jika nilai r besar, sistem akan percaya pada data baru dibandingkan hasil prediksi sebelumnya. Kalman Gain menentukan seberapa besar apabila noise pengukuran (r) kecil, sistem lebih mempercayai data sensor. Sebaliknya jika nilai r besar, sistem akan percaya pada data baru dibandingkan hasil prediksi sebelumnya.

4) Update Estimasi (Update)

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

```
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

5) Update Kovarian Error

$$P(k|k) = (I - K_k \cdot H) \cdot P(k|k-1)$$

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

Kode tersebut menggabungkan 2 proses sekaligus

- (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 sistem menyesuaikan level kepercayaan terhadap sensor berdasarkan seberapa besar selisih antara hasil prediksi dan data GPS

6) Fungsi Kalman Lengkap

```
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;
}
```

Fungsi kode tersebut dijalankan setiap kali data GPS baru diterima baik nilai latitude dan longitude. Hasil akhirnya (estimate) adalah posisi yang sudah lebih halus dan stabil dibanding data GPS mentah.

Tabel 2. Analisis GPS dan 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

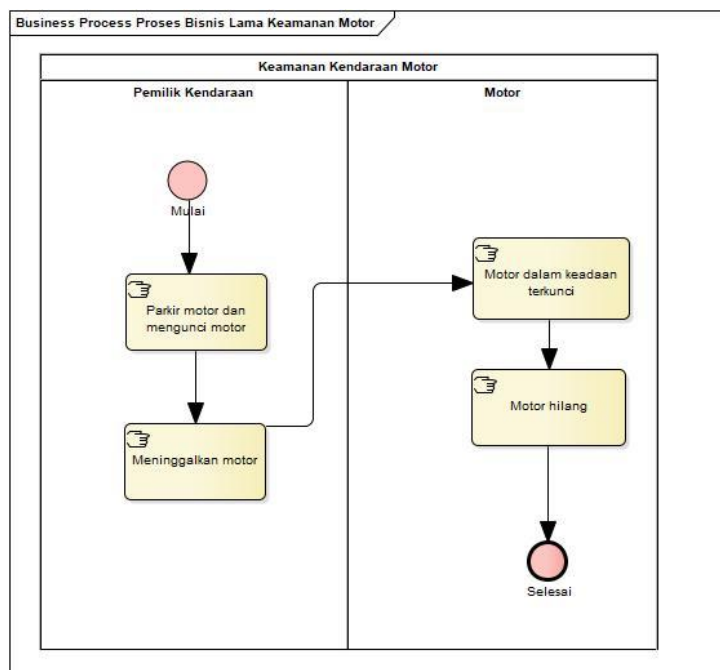
waktu	lat_raw	lon_raw	lat_kalman	lon_kalman	error m	status zona
2025-08-27T04:17:49	-6,5931035	106,7901843	-6,593102381	106,7901874	0,364330505	Aman
2025-08-27T04:18:19	-6,593107167	106,7901532	-6,593107008	106,790152	0,133725358	Aman
2025-08-27T04:18:50	-6,593096667	106,7901582	-6,593094702	106,7901609	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. Perancangan Sistem

Berikut adalah Perancangan sistem yang terdapat dalam sistem pelacakan keberadaan kendaraan bermotor roda dua yang dikembangkan.

a. Proses Bisnis lama

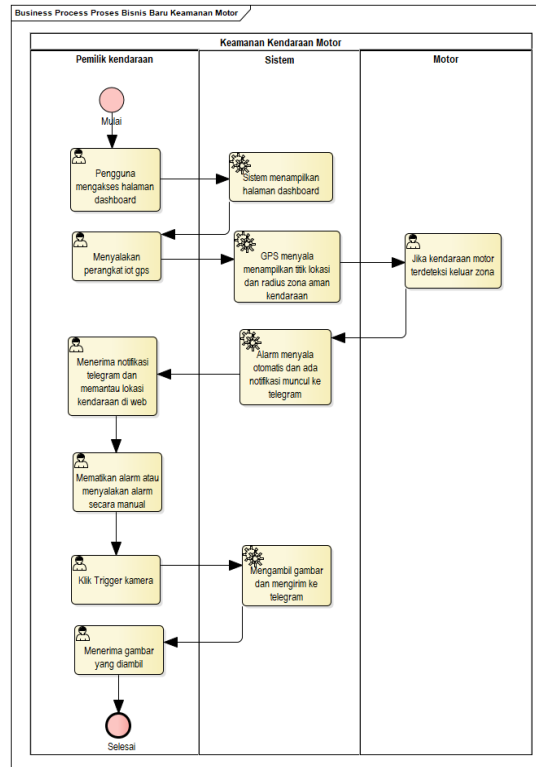
Berdasarkan pada diagram proses bisnis lama, data yang diperoleh melalui observasi menunjukkan bahwa proses keamanan motor dilakukan secara manual dan konvensional. Pemilik Kendaraan harus secara fisik memarkir motor dan menguncinya sebelum meninggalkan motor. Proses ini bergantung sepenuhnya pada kunci fisik dan perhatian pemilik. Setelah ditinggalkan, motor berada dalam keadaan terkunci. Namun, jika ada upaya pencurian, tidak ada sistem yang memberikan peringatan dini. Jika pencurian berhasil, konsekuensinya adalah Motor hilang, yang mengakhiri proses ini tanpa adanya tindakan preventif. Proses manual ini lambat dalam mendeteksi ancaman dan berisiko tinggi terhadap kehilangan motor. Berikut gambar 4.1 merupakan diagram proses bisnis lama.



Gambar 7. Proses Bisnis Lama

b. Proses Bisnis Baru

Proses bisnis baru ini dimulai dengan Pengguna yang mengakses halaman dashboard melalui perangkatnya. Sistem kemudian akan menampilkan halaman dashboard yang berfungsi sebagai antarmuka utama. Dari dashboard ini, pengguna dapat menyalakan perangkat IoT GPS. Setelah GPS menyala, sistem akan mulai menampilkan titik lokasi kendaraan secara real-time. Sistem juga akan menentukan radius zona aman yang telah diatur sebelumnya. Jika motor terdeteksi keluar zona aman, maka alarm akan menyala otomatis dan notifikasi akan muncul ke Telegram untuk memberitahu pengguna. Berikut ini gambar 4.2 merupakan diagram proses bisnis baru.



Gambar 8. Proses Bisnis Baru

Pengguna kemudian akan menerima notifikasi Telegram dan dapat memantau lokasi kendaraan secara langsung dari web. Dari dashboard, pengguna memiliki kendali penuh untuk mematikan alarm atau menyalakan alarm secara manual. Selain itu, pengguna juga bisa memicu kamera dari jarak jauh dengan mengklik tombol Trigger Kamera. Setelah perintah diberikan, sistem akan mengambil gambar dan mengirimkannya ke Telegram pengguna. Dengan demikian, pengguna dapat menerima gambar yang diambil dan melihat kondisi di sekitar motor. Proses ini berakhir dengan semua kebutuhan pemantauan dan kontrol kendaraan terpenuhi, memastikan keamanan yang lebih baik.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai sistem pelacakan kendaraan bermotor roda dua berbasis IoT menggunakan ESP32, GPS, ESP32-CAM, buzzer, serta web monitoring dengan dukungan Kalman Filter, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem yang dikembangkan terbukti mampu melakukan pelacakan kendaraan secara real-time dengan menampilkan posisi pada web monitoring berbasis Leaflet API yang terhubung ke OpenStreetMap. Data yang ditampilkan bersifat dinamis dan dapat diakses secara langsung oleh pengguna sehingga memudahkan dalam pemantauan kendaraan.
2. Penerapan Kalman Filter pada data GPS meningkatkan akurasi koordinat dengan nilai error dan RMSE yang lebih rendah dibandingkan data mentah, sehingga posisi kendaraan pada peta tampil lebih halus dan stabil.
3. Fitur geofencing yang diimplementasikan berhasil mendeteksi pergerakan kendaraan baik ketika berada di dalam maupun di luar zona aman. Selain itu, sistem mampu secara otomatis mengaktifkan buzzer sebagai bentuk peringatan.
4. Hasil pengujian fungsional (blackbox testing) memperlihatkan bahwa seluruh fitur sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan, mulai dari pelacakan lokasi, pengiriman notifikasi, integrasi dengan perangkat keras, hingga penyimpanan data dalam format CSV.
5. Uji pengguna menunjukkan respon positif; sistem dinilai mudah digunakan, tampilannya menarik, dan bermanfaat dalam meningkatkan rasa aman pemilik kendaraan. Dengan demikian, penelitian ini berhasil mencapai tujuan menghadirkan sistem pelacakan kendaraan yang akurat, responsif, dan praktis.

E. Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem ini dapat ditingkatkan dengan menambahkan modul komunikasi seluler (SIM800L) agar tidak bergantung pada WiFi. Antarmuka web monitoring bisa dibuat lebih interaktif dengan fitur autentikasi pengguna demi keamanan. Lakukan pengujian diberbagai kondisi lingkungan untuk mengetahui batasan performa sistem. Kamera ESP32-CAM pun berpotensi dikembangkan dengan algoritma pengenalan objek sehingga sistem lebih cerdas dalam mendeteksi kondisi kendaraan. Pada pengujian berskala besar, metode force choice sebaiknya diganti dengan instrumen penilaian lain seperti skala likert agar hasil lebih detail dan dapat dianalisis secara kualitatif.

F. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alam, S. S., Haq, M. R., Kokash, H. A., Ahmed, S., & Ahsan, M. N. (2025). Approaches and Applications of Business Research Methods. IGI Global. <https://books.google.co.id/books?id=2aJFEQAAQBAJ>
- [2] Amane, A. P. O., Febriana, R. W., Artiyasa, M., Cahyaningrum, A. O., Husain, Abror, M. N., Fachruzzaki, Asman, A., M.Biomed, Ridwan, A., Suraji, A., Aritonang, L., & Srifitriani, A. (2023). Pemanfaatan Dan Penerapan Internet Of Things (IOT) Di Berbagai Bidang (Studi Kasus & Implementansi Pemanfaatan serta Penerapan IoT dalam berbagai Bidang). www.sonpedia.com
- [3] Ananna, T. N., & Saifuzzaman, M. (2024). Introduction to Internet of Things. *Studies in Computational Intelligence*, 1169, 1–49. https://doi.org/10.1007/978-981-97-5624-7_1
- [4] Ardyan, E., Boari, Y., Akhmad, A., Yuliyani, L., Hildawati, H., Suarni, A., Anurogo, D., Ifadah, E., Judijanto, L., & Efitra, E. (2023). Metode Penelitian Kualitatif Dan Kuantitatif: Pendekatan Metode Kualitatif dan Kuantitatif di Berbagai Bidang. PT. Sonpedia Publishing Indonesia. <https://books.google.co.id/books?id=A8LmEAAAQBAJ>
- [5] Caniago, D. P., Andaria, A. C., Simatupang, F., Mursalim, M., Iskandar, R., Sulthony, M. R., Nurjannah, D. R., Karyanik, K., Palandi, J. F., & Maemunah, S. (2024). Internet of Things (IoT): Inovasi, Implementasi, dan Masa Depan. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah. <https://books.google.co.id/books?id=10YIEQAAQBAJ>
- [6] Chen, B., Dang, L., Zheng, N., & Principe, J. C. (2023). Kalman Filtering Under Information Theoretic Criteria. Springer International Publishing. <https://books.google.co.id/books?id=KbfREAAAQBAJ>
- [7] Dodi Yudo Setyawan, N. R. S. N. (2022). Internet of Things ESP8266 ESP32 Web Server - Jejak Pustaka. Jejak Pustaka. <https://books.google.co.id/books?id=YzeIEAAAQBAJ>
- [8] Benny Hardjono, B. E. E. M. E., Andree E. Widjaja, S. K. M. B. A., M. Gracio A. R., M. T., Tjahyadi, H., Calandra Alencia Haryani, S. E. S. S. I. M. T. I., & Renatan, W. (2020). Komunikasi Nirkabel: dengan Aplikasinya di Bidang Telekomunikasi dan Informatika. Penerbit Andi. <https://books.google.co.id/books?id=CzYNEAAAQBAJ>
- [9] Edham, M., Osman, A., & Hassan, H. (2024). PEAT GPS and GSM-Based Vehicle Tracking System. 5(1), 23–31.
- [10] Erlinda Tehuayo, S. E. M. S., Evtin Rizal Tamher, S. E. M. S., Merry M. Pelupessy, S. E. M. M., & Dr. Aisah Asnawi, S. E. M. S. (2024). Mengenal Tren Pemasaran. Takaza Innovatix Labs. <https://books.google.co.id/books?id=VikzEQAAQBAJ>
- [11] Felix Govaers. (n.d.). *Introduction_and_Implementations_of_the*.
- [12] Hidayat, T. N., & Ardiani, F. (2023). Sistem Keamanan Kendaraan Bermotor Berbasis IoT dan Web dengan Fitur Pelacakan GPS dan Pemutusan Aliran Listrik Secara Otomatis. *Jurnal Sistem Komputer Dan Informatika (JSON)*, 5(2), 196. <https://doi.org/10.30865/json.v5i2.6956>
- [13] Ibnu Daqiqil Id. (n.d.). MACHINE LEARNING : Teori, Studi Kasus dan Implementasi Menggunakan Python. Unri Press. <https://books.google.co.id/books?id=JvBPEAAAQBAJ>
- [14] Imran, A., & Rasul, M. (2020). Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan Esp32. *Jurnal Media Elektrik*, 17(2), 2721–9100. <https://ojs.unm.ac.id/mediaelektrik/article/view/14193>
- [15] Irvan, L. (2023). Dasar Algoritma dan Pemograman Javascript. Irvan Lewenusa, M.Kom. <https://books.google.co.id/books?id=Ka7JEAAAQBAJ>
- [16] Iskandar, D. (2024). Pengembangan Aplikasi Mobile Menggunakan Platform Android. Deepublish. <https://books.google.co.id/books?id=NGcrEQAAQBAJ>
- [17] Jabastian, A. H. H., Erwansyah, K., Wahyuni, M. S., & Arif, S. N. (2023). Monitoring Anti Maling Sepeda Motor Menggunakan IOT Berbasis NodeMCU. *Jurnal Sistem Komputer Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, 2(1), 34–42. <https://doi.org/10.53513/jursik.v2i1.7045>
- [18] Jwo, D. J., Cho, T. S., & Demssie, B. A. (2025). Dynamic Modeling and Its Impact on Estimation Accuracy for GPS Navigation Filters. *Sensors*, 25(3). <https://doi.org/10.3390/s25030972>
- [19] Kumar, A., Bhushan, M., Galindo, J. A., Garg, L., & Hu, Y. C. (2023). Machine Intelligence, Big Data Analytics, and IoT in Image Processing: Practical Applications. Wiley. <https://books.google.co.id/books?id=FmuvEAAAQBAJ>
- [20] Kusnanto. (2020). Menelusuri Sejarah Alat Transportasi. Alprin. <https://books.google.co.id/books?id=fn3-DwAAQBAJ>
- [21] Maldini, A. R. M. (2022). Rancang Bangun Sistem Keamanan Kendaraan Bermotor Roda Dua Berbasis Internet of Things dengan Modul NodeMCU ESP8266 V3 dan ESP32-CAM. *Electrician*, 16(2), 215–222. <https://doi.org/10.23960/elc.v16n2.2291>

- [22] Moumen, I., Rafalia, N., & Abouchabaka, J. (2023). Real - time GPS Tracking System for IoT - Enabled Connected Vehicles. 01095.
- [23] Musfirah Putri Lukman, S. T. M. T. H. S. T. M. T., Kurniawati Naim, S. T. M. T. A. A. S. T. M. T., Dr. Satriani Said, S. T. M. T. M. W. P. L. S. P., Imraatussholihah, S. S. T. N. M. S. K., & Siti Maryam, S. S. D. L. H. A. M. M. H. (2024). Mikrokontroler dan Internet Of Things. Nas Media Pustaka. <https://books.google.co.id/books?id=x5Y3EQAAQBAJ>
- [24] Oladimeji, D., Gupta, K., Kose, N. A., Gundogan, K., Ge, L., & Liang, F. (2023). Smart Transportation: An Overview of Technologies and Applications. *Sensors*, 23(8), 1–32. <https://doi.org/10.3390/s23083880>
- [25] Pardosi, V., Wijaya, T. K., Hasibuan, F., Algusri, M., Irsyam, M., Nurlaila, Q., & Mayasari, N. (2024). Model Optimalisasi Untuk Prototype Robot Tangki Iot Dalam Deteksi Gas dan Suhu. Tohar Media. <https://books.google.co.id/books?id=RxwnEQAAQBAJ>
- [26] Polri, K. (2025). Jumlah Data Kendaraan Per Pulau. <http://rc.korlantas.polri.go.id:8900/eri2017/laprekappulau.php>
- [27] Prabowo, M. (n.d.). Metodologi Pengembangan Sistem Informasi. LP2M Press IAIN Salatiga. <https://books.google.co.id/books?id=UI8dEAAAQBAJ>
- [28] Rohman, A. S. (2024). Master Coding HTML, CSS & Javascript: Menggunakan Visual Studio Code. Anak Hebat Indonesia. <https://books.google.co.id/books?id=sfBvEQAAQBAJ>
- [29] Romadlon Ardliyansyah, M. S., & Bachri, A. (2022). Rancang Bangun Sistem Keamanan Dan Pengendali Jarak Jauh Sepeda Motor Menggunakan Android Berbasis Nodemcu ESP32 dan GPS. *Jurnal FORTECH*, 3(1), 27–33. <https://doi.org/10.56795/fortech.v3i1.104>
- [30] Sai, K. G., & Lokanadhamanikanta, Y. (2023). IOT Based Smart Embedded System For Vehicle Safety And Driver Security. 14(04), 80–87.
- [31] Setyawan, N. A., Mustofa, A., & Kurdianto, A. A. (2024). Rancang Bangun Sistem Keamanan Sepeda Motor Berbasis Internet of Things. *Techno Bahari*, 11(1), 1–6. <https://doi.org/10.52234/tb.v11i1.139>
- [32] Shevchenko, Y., & Reips, U. D. (2024). Geofencing in location-based behavioral research: Methodology, challenges, and implementation. *Behavior Research Methods*, 56(7), 6411–6439. <https://doi.org/10.3758/s13428-023-02213-2>
- [33] Siswoyo, A., Artanto, D., M, T. A. H., & Press, S. D. U. (2024). Aplikasi ESP32-CAM. Sanata Dharma University Press. <https://books.google.co.id/books?id=HLUnEQAAQBAJ>
- [34] Solso, R. L. (n.d.). Information Processing and Cognition: The Loyola Symposium. <https://books.google.co.id/books?id=NHONEQAAQBAJ&newbks=0&lpg=PT206&dq=forced choice results interpretation&hl=id&pg=PT206#v=onepage&q=forced choice results interpretation&f=false>
- [35] Sugiyono. (2020). Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D.
- [36] Trianah, M., Saputra, D. W., & Irnaningsih, S. (2024). Pengaruh Sejarah Perkembangan Alat Transportasi Darat, Laut, dan Udara di Indonesia serta Dampaknya terhadap Masyarakat. Seminar Nasional Dan Publikasi Ilmiah (SEMNASFIP), 2584–2592.
- [37] Trisianto, D. (2020). Penerapan Metode Kalman Filter untuk Sistem Penjemputan Anak Sekolah Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Sistem Cerdas Dan Rekayasa (JSCR)*, 2, 1–8. <https://ojs.widyakartika.ac.id/index.php/jscr/article/view/176%0Ahttps://ojs.widyakartika.ac.id/index.php/jscr/article/download/176/164>
- [38] Utomo Budiyanto, Titin Fatimah, & Pipin Farida Ariyani. (2021). Pengenalan Internet of Things (IoT) sebagai Upaya Peningkatan Kualitas Pegawai Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. *KRESNA: Jurnal Riset Dan Pengabdian Masyarakat*, 1(1), 82–86. <https://doi.org/10.36080/jk.v1i1.6>
- [39] Wahyudi, D., Nalendra, A. K., & Utomo, P. B. (2023). Deteksi Lokasi Kendaraan Menggunakan Gps Dan Gsm Berbasis Mikrokontroler. *JAMI: Jurnal Ahli Muda Indonesia*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.46510/jami.v4i1.143>
- [40] Waruwu, M. (2024). Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(2), 1220–1230. <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.2141>
- [41] Wibowo, A. (2023). Internet of Things (IoT) dalam Ekonomi dan Bisnis Digital. In Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik. <https://penerbit.stekom.ac.id/index.php/yayasanpat/article/download/436/461>
- [42] Wibowo, H. S. (2023). Pemrograman CSS: Panduan Lengkap untuk Mempercantik Tampilan Web. Tiram Media. <https://books.google.co.id/books?id=POS2EAAAQBAJ>
- [43] Wikanta, P., Uperati, A., & Dwijotomo, A. (2023). ICAE 2022: Proceedings of the 5th International Conference on Applied Engineering, ICAE 2022, 5 October 2022, Batam, Indonesia. EAI Publishing. <https://books.google.co.id/books?id=pfTZEAAAQBAJ>
- [44] Zen, M., & Saragih, M. D. A. (2024). Penerapan Algoritma Multilevel Feedback Queue Pada Aplikasi Pemesanan Makanan. *Serasi Media Teknologi*. <https://books.google.co.id/books?id=X4w0EQAAQBAJ>
- [45] Zhao, J., & Kumar, V. V. (2021). Handbook of Research on Innovations and Applications of AI, IoT, and Cognitive Technologies. IGI Global. <https://books.google.co.id/books?id=IWh2EAAAQBAJ>