

ANALISIS SYSTEM TRACKING DAN KEAMANAN KENDARAAN BERMOTOR MENGGUNAKAN ARDUINO DAN ESP32

William Sanro Umbu Muda^{1*}, Mehya Snae², Yohanis Malelak³

^{1,2,3}Program Studi Teknik informatika, STIKOM Uyelindo Kupang

^{1*}infinixav11232@gmail.com, ²menhyasnae@gmail.com, ³yohanismalelak32@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.46880/mtk.v12i2.5974>

ABSTRACT

Motor vehicle theft remains a leading criminal offense in Indonesia, highlighting the high vulnerability of factory-standard security systems. This situation underscores the urgent need for more adaptive technological innovations to enhance security and enable real-time vehicle tracking. This research focuses on developing an Internet of Things (IoT)-based vehicle security system integrated with location tracking capabilities. The study addresses the lack of an optimal comparative analysis regarding the performance of commonly used microcontrollers specifically the Arduino Uno and ESP32 within the context of tracking systems. System performance is evaluated based on three key parameters: GPS tracking accuracy (timestamp), data transmission latency (response time), and microcontroller power consumption efficiency. The findings aim to identify the superior and more efficient microcontroller platform, serving as a crucial reference for developers and researchers creating reliable, fast, and energy-efficient IoT-based vehicle security systems. The results indicate that the ESP32 outperforms the Arduino Uno R3; although the ESP32 exhibits higher power consumption and slightly lower location accuracy than the Arduino Uno R3, it offers a significant advantage: the ability to manage the SIM7600 module's functions and transmit data to the Blynk dashboard online capabilities that the Arduino Uno R3 lacks.

Keywords: *ESP32, Arduino Uno R3, GPS U-Blox Neo M8N, SIM7600, IoT Vehicle Tracking*

I. PENDAHULUAN

Dalam era digital yang serba terhubung saat ini, perkembangan teknologi informasi (IT) telah memberikan dampak besar terhadap berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk dalam bidang keamanan dan transportasi. Konsep *Internet of things (IoT)*, integrasi sensor cerdas, dan sistem komunikasi nirkabel telah memungkinkan terciptanya solusi keamanan yang lebih efisien dan adaptif untuk kendaraan bermotor. Salah satu penerapan teknologi tersebut adalah pada sistem keamanan sepeda motor, yang kini menjadi isu penting mengingat meningkatnya kasus pencurian kendaraan di Indonesia. Kendaraan bermotor seperti sepeda motor yang merupakan alat transportasi yang digunakan oleh hampir semua orang. Pada zaman yang semakin modern ini, teknologi keamanan yang ditanamkan kedalam kendaraan semakin canggih. Namun hal tersebut tidak menjadi penghalang terjadinya kasus pencurian kendaraan bermotor. Terlepas dari sistem keamanan yang ada, pelaku pencurian tetap bisa melakukan pencurian terhadap kendaraan bermotor. Hal ini dapat terjadi karena alat untuk melakukan pencurian mudah dicari, seperti membuat kunci palsu, obeng, kawat dan perlengkapan lainnya dan hasilnya cukup menguntungkan dan mudah memasarkannya melalui jaringan atau penadah, serta mudah mengubah identitas Ranmor (kendaraan bermotor) hasil curian [1]. Selain itu hingga saat ini, standar sistem keamanan kendaraan bermotor di Indonesia masih belum sepenuhnya mengikuti perkembangan teknologi global. Hal ini menjadi peluang bagi penelitian untuk mengembangkan sistem keamanan alternatif yang inovatif dan adaptif terhadap kebutuhan di lapangan. Berdasarkan data Kepolisian Republik Indonesia tahun 2023, kasus pencurian kendaraan bermotor masih menempati urutan teratas dalam tindak kriminalitas dengan jumlah lebih

dari 30 ribu kasus per tahun. Fakta ini menunjukkan bahwa tingkat keamanan kendaraan bermotor di Indonesia masih tergolong rendah, sehingga perlu adanya inovasi teknologi yang dapat meningkatkan keamanan kendaraan, terutama dalam hal pelacakan posisi ketika terjadi pencurian. Permasalahan utama yang terjadi adalah belum adanya sistem keamanan kendaraan bermotor berbasis *Internet of Things (IoT)* yang optimal dalam hal kecepatan dan keakuratan pelacakan, serta belum adanya analisis komparatif terhadap kinerja mikrokontroler yang digunakan seperti *Arduino* dan *ESP32*. Adanya teknologi keamanan *keyless* juga tidak menjamin bahwa sebuah kendaraan bisa dikatakan aman dari tindak kriminal, kendaraan otomotif memiliki banyak *interface* fisik langsung yang memungkinkan pelaku kriminal untuk menyusup dan menyebabkan efek berbahaya karena bisa memberikan akses langsung ke *ECU* dari kendaraan tersebut [2]. Seiring dengan perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)*, muncul berbagai sistem keamanan kendaraan bermotor berbasis *tracking* yang mampu mengirimkan lokasi kendaraan secara *real-time* melalui jaringan internet. *IoT* menggunakan *chip* pemrosesan yang aman, efisien, berbiaya rendah, dan berdaya rendah dengan internet sebagai bagian pentingnya [3]. Teknologi *IoT* memungkinkan integrasi sensor, *GPS*, dan sistem komunikasi nirkabel yang dapat dimonitor dari jarak jauh melalui aplikasi atau *server*. Dengan penggunaan sensor, kendaraan bertukar data multimedia selanjutnya memberikan informasi yang bermanfaat [4]. Mikrokontroler *Arduino* adalah mikrokontroler *opensource* yang dapat dengan mudah diprogram dan diupdate kapan saja, *Arduino* pertama kali diperkenalkan di tahun 2005 dan merupakan perangkat yang dapat berinteraksi dengan lingkungan sekitar menggunakan sensor. *Arduino* memiliki *input* dan

output yang dapat digunakan untuk menerima data dan mengirimkan *output*[5]. Selain *Arduino* ada juga mikrokontroler *ESP32*, *ESP32* merupakan sebuah *platform* mikrokontroler yang kuat dan hemat biaya yang memiliki fitur dan kemampuan yang sangat mumpuni untuk pengembangan *platform IoT* [6]. *ESP32* juga dapat diprogram menggunakan berbagai *framework* dan bahasa pemrograman.

Dengan demikian, penulis tertarik untuk melakukan analisis sistem *tracking* dan keamanan kendaraan bermotor menggunakan *Arduino* dan *ESP32*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem keamanan kendaraan bermotor berbasis *Internet of Things (IoT)* yang lebih efisien dan andal. Melalui perbandingan kinerja antara mikrokontroler *Arduino* dan *ESP32*, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *platform* yang memiliki tingkat kecepatan, akurasi, dan efisiensi komunikasi data terbaik dalam sistem pelacakan kendaraan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembang maupun peneliti lain dalam menciptakan inovasi sistem keamanan kendaraan yang adaptif terhadap perkembangan teknologi dan kebutuhan masyarakat di era digital saat ini.

II. KAJIAN TERKAIT

Penelitian Terdahulu

Secara umum, penelitian dalam bidang sistem keamanan kendaraan bermotor berbasis *Internet of Things* berkaitan erat dengan pengembangan teknologi pelacakan, komunikasi data nirkabel dan pencegahan tindak pencurian. Agar bisa dipahami lebih jauh, rangkuman umum berikut ini berisikan hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan pengembangan sistem keamanan kendaraan bermotor berbasis *IoT*. Dalam penelitiannya, Siswanto et.al, mengimplementasikan sistem keamanan berbasis *Internet of Things (IoT)* pada kendaraan bermotor. Sistem ini menggunakan *NodeMCU*, *relay*, modul *GPS*, dan sensor sidik jari yang diintegrasikan dengan aplikasi *Blynk* untuk menampilkan data dari perangkat *IoT*. Hasil implementasi menunjukkan bahwa kendaraan dapat dipantau melalui pelacakan lokasi dalam bentuk koordinat serta memiliki dua metode akses, yaitu melalui sensor sidik jari dan *smartphone*, yang secara signifikan meningkatkan tingkat keamanan kendaraan[7].

Menurut penelitian Jabastian et.al, sistem monitoring anti maling pada kendaraan bermotor dikembangkan menggunakan *NodeMCU ESP8266* yang dikombinasikan dengan *LCD 16x2* dan sensor *HC-SR04*. Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi jarak serta keberadaan objek di sekitar kendaraan, dan data yang diperoleh dikirimkan ke aplikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berbasis *IoT* ini mampu mendeteksi keberadaan objek secara efektif, menampilkan data pada *LCD*, serta mengirimkan notifikasi ke pengguna melalui *Blynk*, sehingga dapat meningkatkan keamanan kendaraan dari potensi pencurian[8]. Penelitian Alagarsamy et al mengembangkan sistem *monitoring* kendaraan listrik berbasis *IoT* untuk mendeteksi kecelakaan secara cepat dan otomatis. Tujuan penelitian ini adalah

mengembangkan sistem yang mampu mendeteksi kecelakaan pada kendaraan listrik, menilai tingkat kerusakan, serta mengirimkan informasi kepada pihak berwenang. Sistem ini memanfaatkan sensor akselerometer, sensor benturan (*impact sensor*), kamera, dan modul *GPS* yang terhubung ke *Arduino*, serta menggunakan metode *machine learning* dan klasifikasi citra dengan hasil yang ditampilkan pada laman web. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *E-VMS* yang dikembangkan mampu secara akurat mendeteksi kejadian kecelakaan, menilai tingkat keparahan, dan memberikan informasi lokasi kendaraan secara *real-time* [9]. Dalam penelitiannya, Idris et.al (2025) melakukan analisis terhadap keakuratan sistem pelacakan kendaraan secara *real-time* menggunakan aplikasi *Blynk* yang menerima data dari modul *GPS*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pelacakan kendaraan berbasis *microcontroller TTGO T-CALL ESP32 SIM800L* memiliki tingkat akurasi yang tinggi, dengan persentase kesalahan posisi (*latitude* dan *longitude*) masing-masing sebesar 0,150951%, lebih rendah dibandingkan penelitian sebelumnya yang mencapai 0,217546%.[11] Penelitian Aryatama dan Samsugi mengembangkan sistem keamanan kendaraan dengan integrasi mikrokontroler *ESP32* yang dikendalikan melalui aplikasi *Android* menggunakan konektivitas *Bluetooth* dan *Wi-Fi*. Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pencegahan pencurian dengan memungkinkan pemantauan serta pengendalian kendaraan dari jarak jauh. Sistem memanfaatkan sensor getaran *SW-420* untuk mendeteksi gangguan, modul *Bluetooth* untuk komunikasi dengan perangkat *Android*, serta *buzzer* sebagai alarm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik, alarm aktif ketika terdeteksi getaran mencurigakan, dan pengguna dapat menyalakan maupun mematikan kendaraan melalui aplikasi, menggantikan fungsi kunci konvensional[12].

Pada penelitian Juliarto et.al mengembangkan sistem keamanan kendaraan berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan modul *ESP32* dan aplikasi *Blynk*. Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan sistem keamanan dengan tingkat proteksi tinggi melalui deteksi intrusi, penguncian dan pembukaan kunci otomatis, serta pemantauan kendaraan secara *real-time*. Sistem memanfaatkan *ESP32* sebagai pusat kendali, sensor intrusi untuk mendeteksi gangguan, modul pengunci otomatis, serta aplikasi *Blynk* sebagai antarmuka pengguna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini berfungsi secara efektif dan responsif, mampu mendeteksi intrusi dengan akurat, serta mengendalikan kunci kendaraan secara otomatis baik dari jarak dekat maupun jauh[13]. Penelitian Musyafa et.al yang merancang sistem keamanan sepeda motor berbasis *Arduino Uno* yang terintegrasi dengan sensor *RFID* untuk meningkatkan keamanan kendaraan bermotor. Sistem ini menggunakan *Arduino Uno* sebagai pusat kendali dengan integrasi *RFID Reader*, kartu tag, *relay*, dan alarm yang terhubung ke sumber daya kendaraan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa apabila kartu *RFID* yang digunakan tidak valid, maka sistem akan mengaktifkan *relay* kedua untuk menyalakan alarm dan memutus pengapian motor, sehingga kendaraan tidak

dapat dihidupkan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tersebut mampu memperkuat keamanan sepeda motor dari upaya pencurian[14].

Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah sebuah sistem yang menghubungkan berbagai perangkat dan objek fisik melalui internet, yang dilengkapi dengan sensor, aktuator, dan modul komunikasi untuk saling berinteraksi dan bertukar data. *IoT* memungkinkan perangkat untuk melakukan fungsi seperti pengendalian, pemantauan, pengumpulan data, dan analisis secara otomatis dan jarak jauh. Teknologi ini berkembang pesat dan diaplikasikan dalam berbagai bidang, termasuk di industri dan kehidupan masyarakat, guna meningkatkan efisiensi, kenyamanan, serta kualitas hidup. Selain itu, *IoT* juga dikembangkan sebagai ekosistem global yang mendukung otomatisasi layanan serta pembangunan sistem pintar yang terintegrasi Villamil *et al*[15].

Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah komputer kecil (*special purpose computer*) di dalam satu *IC (Integrated Circuit)* yang berisi *CPU*, Memori, *Timer*, saluran komunikasi *serial* dan *parallel*, port *Input/Output*, *ADC*. Mikrokontroler juga mempunyai program operasi tertentu di dalamnya Widharma dan Wiranata[16].

Arduino

Arduino adalah mikrokontroler open-source yang dapat diprogram dengan mudah dan dapat diupdate kapan saja. Arduino memiliki input dan output yang bisa digunakan untuk mendapatkan informasi dan berdasarkan data yang diterima, arduino dapat mengirimkan sebuah output lewat internet menggunakan HTTP request. Platform arduino dapat dibedakan menjadi dua yaitu secara Hardware dan Software. Arduino menggunakan perangkat keras yang dikenal dengan Arduino Development Board Software yang digunakan untuk mengembangkan kode kedalam Arduino Development Board adalah ArduinoIDE. Dibangun dengan 8-bit Atmel AVR, mikrokontroler ini dapat diprogram dengan mudah menggunakan bahasa C++ dalam ArduinoIDE. Papan arduino juga dapat digunakan untuk mengupload kode baru secara langsung menggunakan kabel USB yang tersambung ke Personal Computer Ismailov dan Jo'rayev.[5]

SIM7600E-H 4G LTE Module

Modul SIM7600E-H (Subscriber Identification Module 7600E-H) merupakan sebuah modul komunikasi seluler berteknologi LTE (Long-Term Evolution) yang dirancang untuk memungkinkan pertukaran informasi melalui jaringan 4G, 3G, maupun 2G pada perangkat tertanam. Modul ini memiliki dimensi $30 \times 30 \times 2,9$ mm dan dilengkapi dengan total 87 pad yang berfungsi sebagai saluran komunikasi, kontrol, serta koneksi antena. SIM7600E-H bekerja pada rentang tegangan 3,4 hingga 4,2 volt dengan rekomendasi 3,8 volt dan memerlukan suplai arus lebih dari 2 ampere untuk memastikan kinerja yang stabil. Modul ini mendukung beberapa antarmuka komunikasi seperti UART, SPI, I2C, dan USB. Selain kemampuan transmisi data seluler, SIM7600E-H juga dilengkapi mesin GNSS yang menyediakan fungsi penentuan posisi global dan sinkronisasi waktu, dengan akurasi sekitar 2,5 meter

dalam kondisi ruang terbuka dan pembaruan data sebesar 1 Hz. Modul ini juga menyediakan keluaran "netlight" yang menunjukkan status konektivitas jaringan melalui pola kedipan LED, sehingga mempermudah pemantauan kondisi jaringan secara real-time Suto[17].

GPS Module u-blox NEO-M8N

GPS (Global Positioning System) u-blox NEO-M8N adalah modul GNSS berpresisi tinggi yang menggunakan receiver 72-channel untuk menerima dan memproses sinyal satelit secara simultan untuk menghasilkan data posisi dan waktu dengan tingkat stabilitas yang tinggi. Modul ini mendukung laju pembaruan (update rate) hingga 10 Hz, memungkinkan pemantauan dinamika gerakan yang cepat dan responsif. Memiliki akurasi posisi horizontal sekitar 2,5-meter dan akurasi kecepatan 0,05 m/s, menjadikannya salah satu modul yang optimal untuk aplikasi mobilitas tinggi. Modul ini beroperasi pada tegangan suplai 3,6 V dengan konsumsi arus maksimum 67 mA. Komunikasi data dilakukan melalui antarmuka UART menggunakan protokol RS232, sehingga dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti ATmega328 untuk proses parsing data NMEA. Time to First Fix (TIFF) maksimum tercatat sekitar 45 detik, yaitu waktu yang diperlukan modul untuk memperoleh informasi almanac dan ephemeris dari satelit hingga menghasilkan koordinat valid. Dalam implementasi sistem, modul ini bekerja bersama RTC untuk menyediakan stempel waktu presisi dan menyimpan data secara kontinu dalam SD card. Dengan kemampuan penerimaan multi-satelit, kecepatan akuisisi tinggi, dan kompatibilitas antarmuka yang luas, NEO-M8N menjadi modul GNSS yang sangat sesuai untuk sistem dengan pengaplikasian tracking presisi lainnya Firdaus dan Ismail[18].

INA226 Power Sensor

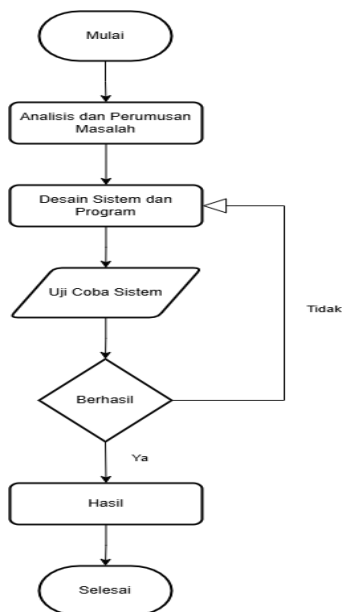
INA226 adalah sebuah precision current and power monitor berbasis arsitektur half-digital yang mengukur arus melalui pembacaan tegangan diferensial (VSENSE) pada resistor shunt berimpedansi rendah. IC ini menggunakan konverter analog-ke-digital terintegrasi untuk mengubah tegangan shunt menjadi nilai digital, sehingga memperkecil panjang lintasan sinyal analog pada PCB dan meningkatkan ketahanan terhadap interferensi elektromagnetik. INA226 mendukung operasi pengukuran high-side, memungkinkan pengawasan arus pada jalur suplai utama tanpa mengganggu referensi ground sistem. Sensor ini menyediakan pengaturan waktu konversi internal, mekanisme averaging multi-sampel, serta menghasilkan keluaran pengukuran arus dan daya melalui antarmuka I²C. Kemampuan averaging internal berperan penting dalam menstabilkan nilai pembacaan, terutama pada kondisi tegangan suplai yang bising. Konfigurasi internal INA226 memberikan tingkat presisi dan akurasi lebih tinggi secara langsung dibandingkan pendekatan analog, meskipun waktu konversinya relatif lebih lambat. Dengan integrasi ADC, modul ini mampu menghasilkan data terukur yang konsisten dan minim noise, sehingga sangat sesuai digunakan pada sistem sekering elektronik yang memerlukan pemantauan arus secara akurat dan andal Johansson[19].

Power Bank

Power bank adalah alat portabel yang memiliki fungsi untuk menyimpan, mengisi dan menyediakan daya untuk perangkat elektronik. Power bank memiliki papan sirkuit pencatu daya (PCB), terminal positif dan negatif, serta unit pengencang agar baterai dapat diganti dengan mudah. Power bank sendiri terdiri dari casing yang berfungsi untuk menyimpan atau membungkus semua komponen, PCB yang memiliki rangkaian pelepasan (discharge circuit) serta port input dan output untuk mengisi kembali daya dalam power bank atau mengeluarkan daya dari power bank untuk mengisi daya alat elektronik. Cara kerja dari power bank adalah dengan menghubungkan baterai di dalam power bank ke rangkaian PCB melalui terminal dan komponen pengencang elastis. Ketika daya dibutuhkan maka listrik dari baterai dialirkan melalui rangkaian pelepasan pada PCB ke port output Li[20].

II. METODE

Prosedur penelitian dibuat dalam flowchart untuk menggambarkan tahapan penelitian yang dilakukan secara sistematis. Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Pada tahap analisis dan perumusan masalah, dilakukan analisis masalah yang ada yaitu, sistem keamanan untuk kendaraan bermotor yang dimana menggunakan banyak varian mikrokontroler untuk sistem keamanan tersebut yang dapat membingungkan ketika memilih mikrokontroler yang tepat. Pada tahap desain sistem dan program dilakukan perancangan 2 sistem yang dimana sistem yang pertama menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sistem yang ke dua menggunakan Arduino Uno R3 dengan sensor pendukung yang sama pada kedua sistem yaitu SIM7600, GPS U-Blox Neo M8N, SW-420, INA226, LM2587, kapasitor, powerbank dan buzzer. Kemudian kedua sistem yang telah dibangun di uji coba menjalankan fungsi dari masing masing sensor yang dimana jika berhasil menjalankan fungsi, maka

akan mendapatkan data dari sensor sensor yang akan dijadikan sebagai parameter perbandingan antara kedua sistem dan mendapat hasil perbandingan untuk menentukan mikrokontroler yang lebih cocok digunakan dalam sistem tracking dan keamanan kendaraan bermotor. Parameter yang diuji adalah keakuratan lokasi, penggunaan daya, dan latensi pengiriman data dari mikrokontroler ke blynk. Yang dimana data yang diambil sebanyak 10 data dari setiap parameter dalam 1 hari yang dilakukan selama 7 hari.

Cara sistem yang pertama bekerja adalah dengan mengambil data dari setiap sensor yaitu data koordinat, data penggunaan daya, dan data getaran, data-data tersebut kemudian diterima oleh mikrokontroler ESP32 dan dikirimkan melalui internet ke *dashboard blynk* untuk dipantau dan dianalisis oleh peneliti. Cara kerja sistem yang kedua sedikit berbeda, Mikrokontroler yang digunakan adalah *Arduino Uno R3* yang dimana memiliki keterbatasan jalur komunikasi serial (*Hardware serial*) yang hanya memiliki satu jalur *hardware serial* yang dimana jalur tersebut berfungsi sebagai jalur komunikasi sensor dengan mikrokontroler. Sementara terdapat *SIM7600* dan *GPS u-Blox Neo M8N* yang sama-sama membutuhkan jalur tersebut untuk berkomunikasi, masalahnya jalur ini hanya bisa berkomunikasi dengan satu sensor pada satu waktu yang bersamaan. Solusi yang dilakukan adalah dengan tidak menggunakan *SIM7600* dan mempertahankan sensor *GPS U-blox Neo M8N*, sehingga datanya tidak dapat terkirim ke *blynk* untuk dipantau dan dianalisis, jadi penulis memutuskan untuk mengambil data sistem ini menggunakan fitur *excel data streaming* yang menerima data dari *COM Port* laptop yang terhubung dengan *arduino* dan memasukkannya kedalam *excel* untuk dipantau dan dianalisis

Pengujian keakuratan lokasi dilakukan dengan mengambil data titik koordinat latitude dan longitude dari kedua sistem lalu menggunakan formula Haversine untuk menentukan selisih jarak dari 2 titik yang dimana titik pertama diambil dari pembacaan gps dan titik kedua yang merupakan acuan diambil dari google maps pada tempat yang sama kemudian digunakan formula haversine. Metode ini akan menghitung jarak terpendek antar dua titik di permukaan bumi berdasarkan koordinat *longitude* dan *latitude*.

$$d = 2r \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{2} \right) + \cos(\theta_1) \cdot \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right) \quad (1)$$

Setelah mendapatkan jarak selisih jarak dari semua data, digunakan rumus Root Mean Square Error untuk mendapatkan error jarak dari setiap data dan mendapatkan hasil RMSE yang dimana semakin kecil hasil RMSE maka semakin akurat titik koordinat tersebut terhadap titik aktualnya (Google Maps).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i^2)}{n}} \quad (2)$$

Pengujian latensi dilakukan pada sistem yang pertama (ESP32) saja, karena pengujian latensi meliputi waktu data dikirim dari sistem dan data sampai ke *dashboard blynk*, sementara sistem ke dua (*Arduino Uno R3*) tidak dapat mengirimkan data ke *dashboard blynk*. Pengujian dilakukan dengan menghitung selisih waktu saat data di

kiriman dari mikrokontroler dengan waktu saat data diterima di dashboard blynk. Pengujian penggunaan daya dilakukan dengan cara mengambil penggunaan daya dari kedua sistem kemudian dibandingkan untuk mengetahui sistem dengan penggunaan daya yang paling rendah. Data mentah yang didapat berupa tegangan (V), dan Arus (mA). Dari data mentah tersebut, arus dikonversi dari satuan mA ke A untuk kemudian dimasukkan ke dalam rumus dibawah ini dan mendapatkan penggunaan dayanya dalam satuan Watt (W).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengambilan data akurasi lokasi yang dilakukan, didapatkan data berikut ini:

Tabel 1. Data Lokasi GPS ESP32

N o.	Koordinat Google Maps	Koordinat Alat	Error Jarak (M)	Kuadrat Error (M ²)
1	-10.1679775, 123.5739123	10.167960, 123.573924	2,33	5,43
2	-10.1652447, 123.5723560	-10.165219, 123.572450	10,68	114,01
3	-10.1644243, 123.5731831	-10.164450, 123.573180	2,88	8,28
4	-10.1633266, 123.5743586	-10.163296, 123.574356	3,41	11,66
5	-10.1623066, 123.5763783	-10.162267, 123.576286	11,02	121,45
...				
70	-10.1512614, 123.6187381	-10.151293, 123.618722	3,93	15,45
Error Jarak Minimal (Min)			0,30 M	
Error Jarak Maksimal (Max)			25,87 M	
Rata-rata Error Jarak (Mean)			5,14 M	
Mean Squared Error (MSE)			48,26 M ²	
Root Mean Squared Error (RMSE)			6,95 M	

Tabel 2. Data Lokasi GPS Arduino Uno R3

N o.	Koordinat Google Maps	Koordinat Alat	Error Jarak (M)	Kuadrat Error (M ²)
1	-10.165671, 123.572684	-10.165631, 123.572692	4,53	20,55
2	-10.164629, 123.573031	-10.164623, 123.573043	1,47	2,17
3	-10.164263, 123.573402	-10.164232, 123.573379	4,27	18,22
4	-10.163444, 123.574168	-10.163269, 123.574104	20,68	427,72
5	-10.163435, 123.577821	-10.16343, 123.577835	4,53	20,55
...				
70	-10.155843, 123.652418	-10.155831, 123.65242	1,35	1,83
Error Jarak Minimal (Min)			1,02 M	
Error Jarak Maksimal (Max)			20,68 M	
Rata-rata Error Jarak (Mean)			4,41 M	
Mean Squared Error (MSE)			31,33 M ²	
Root Mean Squared Error (RMSE)			5,60 M	

Berdasarkan pemaparan dan hasil rumus *RMSE* yang didapatkan dari kedua sistem, maka diketahui Nilai *RMSE* yang dimiliki oleh sistem yang pertama (*ESP32*) adalah 6,95 meter dan nilai *RMSE* sistem yang kedua (*Arduino Uno R3*) adalah 5,60 meter, semakin kecil hasil *RMSE* maka semakin akurat koordinat yang dihasilkan alat dengan koordinat aktual dari *google maps*. Dibawah ini disajikan tabel waktu kirim dan waktu terima beserta selisih waktu pengiriman dan penerimaan data.

Tabel 3. Data Latensi ESP32

No	Waktu Dikirim	Waktu diterima	Selisih
1	09:20:07.427	09:20:07.600	0.173 s
2	09:21:32.762	09:21:32.833	0.071 s
3	09:22:56.328	09:22:56.480	0.152 s
4	09:23:50.686	09:23:50.871	0.185 s
5	09:24:53.848	09:24:54.018	0.170 s
.....			
70	16:10:51.252	16:10:51.430	0.178 s
Total			9,06 s
Rata Rata			0,129 ms

Berdasarkan data diatas didapatkan waktu rata-rata selisih waktu pengiriman sistem *ESP32* adalah 0,129 detik atau 129 *milisecond*. Pengujian penggunaan daya dilakukan pada kedua sistem dengan mengubah arus dan tegangan menjadi satuan *watt* lalu kemudian mencari rata-rata penggunaan daya (*Watt*) dari kedua sistem. Data penggunaan daya dan hasilnya dapat dilihat di tabel dibawah ini.

Tabel 4. Penggunaan Daya Arduino Uno R3

No.	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	Daya (W)
1	4,543	46,4	210,7952	0,2107952
2	4,496	48,5	218,056	0,218056
3	4,569	46,35	211,77315	0,21177315
4	4,605	46,35	213,44175	0,21344175
5	4,656	44,68	208,03008	0,20803008
....				
70	4,975	44,13	219,54675	0,21954675
Total			14,75898 W	
Rata Rata			0,210843 W	

Berdasarkan tabel data penggunaan daya diatas untuk sistem *Arduino Uno R3* didapatkan total penggunaan daya sebesar 14,75898 *Watt* dan didapatkan rata-rata penggunaan daya sebesar 0,210843 *Watt*

Tabel 5. Penggunaan Daya ESP32

No.	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	Daya (W)
1	4,46	242,43	1081,2378	1,0812
2	4,72	289,4	1365,968	1,366
3	4,46	291,2	1298,752	1,2988
4	4,52	288,15	1302,438	1,3024
5	4,73	273,8	1295,074	1,2951
....				
70	5	315,63	1578,15	1,5782
Total			88,10373 W	
Rata Rata			1,258625 W	

Dari 70 data diatas didapatkan total penggunaan daya dari sistem *ESP32* adalah 88,10373 *Watt* dan rata-rata penggunaan dayanya adalah 1,258625 *Watt*.

IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah: Pada komparasi data antara *Arduino Uno R3* dan *ESP32* dapat diketahui bahwa *ESP32* merupakan mikrokontroler yang paling cocok dan direkomendasikan untuk digunakan dalam suatu sistem keamanan dan pelacakan kendaraan bermotor. Meskipun *ESP32* memiliki rata-rata konsumsi daya yang lebih tinggi dari *Arduino Uno R3*, *ESP32* lebih unggul dalam aspek spesifikasi sehingga *ESP32* mampu menjalankan semua fungsi dasar dan fungsi yang paling mencolok adalah kemampuan *ESP32* untuk terhubung dengan internet dan mengirim data ke dashboard blynk sementara *Arduino Uno R3* tidak dapat melakukan fungsi tersebut karena keterbatasan jalur komunikasi yang dimiliki. Kedua adalah pada bagian keakuratan pelacakan lokasi, *Arduino Uno R3* masih memiliki jarak error yang lebih kecil dari pada *ESP32*.

Dimana jarak error *Arduino Uno R3* berada di 5,60 Meter sementara *ESP32* berada di jarak error sebesar 6,95 Meter, ketiga Konsumsi daya *Arduino Uno R3* berada pada total daya 15,42 Watt dengan rata-rata penggunaan daya sebesar 0,2203 Watt sementara konsumsi daya *ESP32* berada pada total daya sebesar 88,1036 Watt dengan rata-rata penggunaan daya sebesar 1,2586 Watt. Meskipun *Arduino Uno R3* unggul dalam aspek konsumsi daya, tetapi perlu diingat pada sistem *Arduino Uno R3* tidak menggunakan *SIM7600* dan modul *Step Up Lm2587* yang dimana dapat meningkatkan penggunaan daya secara signifikan jika digunakan. Rekomendasi yang diberikan pada artikel ini adalah dengan adanya terdapat kekurangan yang masih dimiliki dapat menjadi bahan pertimbangan untuk pengembangan di penelitian selanjutnya.

Salah satu yang belum terselesaikan penelitian ini adalah modul GPS yang digunakan memiliki keterbatasan yaitu tidak bisa mendapatkan koordinat lokasi saat antenanya terhalang dengan atap yang tebal atau halangan lain yang berbahan besi. Selain itu, sistem off-grid yang digunakan tidak dapat digunakan terus menerus sehingga pengguna harus sering mengecek dan mengisi power bank yang digunakan sebagai sumber daya utama.

V. REFERENSI

- [1] L. Abudi, M. Tahir, and S. F. L., "Faktor-Faktor Penyebab Terjadinya Pencurian Kendaraan Bermotor (Suatu Studi di Wilayah Hukum Polres Buton)," *Sultra Law Rev.*, vol. 2, no. 1, pp. 891–910, 2020.
- [2] A. A. Elkhail, R. U. D. Refat, R. Habre, A. Hafeez, A. Bacha, and H. Malik, "Vehicle Security: A Survey of Security Issues and Vulnerabilities, Malware Attacks and Defenses," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 162401–162437, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3130495.
- [3] A. A. Elngar and M. Kayed, "Vehicle Security Systems using Face Recognition based on Internet of Things," *Open Comput. Sci.*, vol. 10, no. 1, pp. 17–29, 2020, doi: 10.1515/comp-2020-0003.
- [4] A. Rehman, T. Saba, K. Haseeb, G. Jeon, and T. Alam, "Modeling and Optimizing IoT-Driven Autonomous Vehicle Transportation Systems Using Intelligent Multimedia Sensors," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 84, no. 29, pp. 35427–35441, 2025, doi: 10.1007/s11042-023-15563-y.
- [5] A. S. Ismailov and Z. B. Jo'rayev, "Study of Arduino Microcontroller Board," *Sci. Educ.*, vol. 3, no. 3, pp. 172–179, 2022.
- [6] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, and O. Težak, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices," *Sensors*, vol. 23, no. 15, p. 6739, 2023, doi: 10.3390/s23156739.
- [7] Siswanto, R. N. Hay, and F. R. Bahari, "Implementasi Sistem Keamanan Kendaraan Bermotor Menggunakan GPS Berbasis IoT," *STRING (Satuan Tulisan Ris. dan Inov. Teknol.*, vol. 9, no. 2, pp. 215–221, 2024, doi: 10.30998/string.v9i2.25928.
- [8] 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.
- [9] M. Alagarsamy, P. Kasinathan, G. Manickam, P. R. Duruvajaran, J. Sakkarai, and K. Suriyan, "IoT Based E-Vehicle Monitoring System Using Sensors and Imaging Processing Algorithm," *Int. J. Reconfigurable Embed. Syst.*, vol. 11, no. 2, pp. 196–204, 2022, doi: 10.11591/ijres.v11.i2.pp196-204.
- [10] A. A. B. Azlina Idris, Muhamad Nor Iman, Siti Maisurah Sulong, Wan Norsyafizan W. Muhamad, "Vehicle Tracking System Based on Internet of Things Utilizing TTGO T-," *J. Robot. Control*, vol. 2, no. 2, pp. 118–127, 2025.
- [11] A. Idris, W. N. W. Muhamad, M. N. Iman, S. M. Sulong, and A. Abu Bakar, "Vehicle Tracking System Based on Internet of Things Utilizing TTGO T-CALL ESP32 SIM800L," *J. Adv. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 45, no. 2, pp. 118–127, 2025, doi: 10.37934/araset.45.2.118127.
- [12] F. A. Aryatama and S. Samsugi, "Sistem Keamanan Kendaraan Bermotor Dengan ESP32 Menggunakan Kontrol Android," *SMATIKA STIKI Inform. J.*, vol. 14, no. 1, pp. 167–181, 2024, doi: 10.32664/smatika.v14i01.1267.
- [13] M. Juliarto, R. A. Nityasa, and A. D. F. Aditama, "Perancangan Keamanan Kendaraan Tanpa Kunci Dengan Menggunakan ESP32 dan Aplikasi BLYNK Berbasis IOT," *V-MAC (Virtual Mech. Eng. Artic.*, vol. 9, no. 1, pp. 47–53, 2024, doi: 10.36526/v-mac.v9i1.3653.
- [14] F. F. Musyafa, S. Pamuji, and H. Nasrullah, "Sistem Keamanan Sepeda Motor Mio GT Berbasis Arduino Uno dan RFID," *Auto Tech J. Pendidik. Tek. Otomotif Univ. Muhammadiyah Purworejo*, vol. 16, no. 2, pp. 174–186, 2021, doi: 10.37729/autotech.v16i2.1190.
- [15] S. Villamil, C. Hernández, and G. Tarazona, "An overview of internet of things," *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 18, no. 5, pp. 2320–2327, 2020, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v18i5.15911.
- [16] I. G. S. Widharma and L. F. Wiranata, *Mikrokontroler dan Aplikasi*. Media Nusa Creative (MNC Publishing).
- [17] J. Suto, "A Novel Plug-in Board for Remote Insect Monitoring," *Agriculture*, vol. 12, no. 11, p. 1897, 2022, doi: 10.3390/agriculture12111897.
- [18] Firdaus and Ismail, "Komparasi Akurasi Global Position System (GPS) Receiver U-blox Neo-6M dan U-blox Neo-M8N pada Navigasi Quadcopter," *Elektron J. Ilm.*, vol. 12, no. 1, pp. 12–15, 2020, doi: 10.30630/eji.12.1.137.
- [19] E. Johansson, "Current Sensing in Software for Electronic Fuse Applications: Analysis of Two Different Current Measurement Implementations," KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2021.
- [20] W. Li, "Power Bank," 2024