



Implementasi Pelacak Sepeda Motor Berbasis IoT Dengan Fitur Geofencing Dan Notifikasi Real Time Menggunakan Ublox NEO 6 M Berbasis Android

Dandi Pradana^{1*}, Firahmi Rizky²

¹Program Studi Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia

²Program Studi Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia

*Penulis Korespondensi: dandipradanaaa@gmail.com

Abstract

The high rate of motorcycle theft demands a proactive and smart security system. Conventional security systems are considered passive since they cannot provide real-time location information or remote alerts directly to the owner. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based motorcycle tracking system equipped with a geofencing feature and real-time SMS notifications. The system is built using an ESP32 DevKit microcontroller, a Ublox NEO-6M GPS module for coordinate tracking, and a SIM800L Ver.2 module for message transmission. Furthermore, it is integrated with a Web Dashboard and Firebase Realtime Database for centralized location monitoring. Based on the test results, the Ublox NEO-6M module demonstrated excellent accuracy, with an average margin of error of 2.41 meters compared to the reference coordinates. The geofencing feature operated precisely by triggering an alert when the vehicle exceeded the configured 1-kilometer radius limit. Testing of the SMS alert delay showed an average response time of between 4 and 7.1 seconds under stable signal conditions. Moreover, the implementation of anti-spam logic (boolean flag) proved highly effective in preventing redundant messages as the vehicle continued to move further away, and it successfully performed an automatic reset when the vehicle returned to the safe zone. Overall, this system provides proactive protection, accurate monitoring, and reliable early warnings.

Keywords: Internet of Things; Vehicle Tracker; Geofencing; Ublox NEO-6M; ESP32; Firebase.

Abstrak

Tingginya angka pencurian kendaraan bermotor menuntut adanya sistem keamanan cerdas yang proaktif. Sistem keamanan konvensional dinilai pasif karena tidak mampu memberikan informasi lokasi maupun peringatan jarak jauh secara langsung kepada pemilik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pelacak sepeda motor berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dilengkapi dengan

Article History

Received: Oktober 2026

Reviewed: Oktober 2026

Published: Oktober 2026

Plagiarism Checker No

237.u873247.fh8374

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



fitur *geofencing* dan notifikasi SMS *real-time*. Sistem ini dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 DevKit, modul GPS Ublox NEO-6M sebagai penentu koordinat, modul SIM800L Ver.2 sebagai pengirim pesan, serta terintegrasi dengan *Web Dashboard* dan *Firebase Realtime Database* untuk pemantauan lokasi terpusat. Berdasarkan hasil pengujian, modul Ublox NEO-6M menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik dengan rata-rata selisih jarak (*margin error*) sebesar 2,41 meter dibandingkan koordinat referensi. Fitur *geofencing* berhasil beroperasi secara presisi dalam memicu peringatan saat kendaraan melewati batas radius 1 kilometer yang telah dikonfigurasi. Pengujian waktu tunda (*delay*) pengiriman SMS peringatan menunjukkan waktu respons rata-rata antara 4 hingga 7,1 detik pada kondisi sinyal stabil. Selain itu, penerapan logika *anti-spam (flag boolean)* terbukti sangat efektif dalam menahan pengiriman pesan berulang saat kendaraan terus menjauh, serta mampu melakukan *reset* otomatis saat kendaraan kembali ke zona aman. Secara keseluruhan, sistem ini mampu memberikan perlindungan proaktif, pemantauan akurat, dan peringatan dini yang andal.

Kata kunci: *Internet of Things*; Pelacak Kendaraan; *Geofencing*; Ublox NEO-6M; ESP32; Firebase.

1. LATAR BELAKANG

Sepeda motor merupakan salah satu moda transportasi yang paling dominan digunakan oleh masyarakat Indonesia. Berdasarkan kajian Susanto (2019), meningkatnya jumlah kepemilikan sepeda motor berbanding lurus dengan meningkatnya potensi permasalahan keamanan, khususnya tindak pidana pencurian kendaraan bermotor. Sistem keamanan sepeda motor yang digunakan secara konvensional, seperti kunci mekanis, kunci ganda, dan alarm standar pabrikan, dinilai belum mampu memberikan perlindungan yang optimal. Menurut Pratama dan Hidayat (2018), sistem keamanan konvensional memiliki keterbatasan dalam hal pemantauan jarak jauh serta tidak mampu memberikan notifikasi secara real time kepada pengguna.

Pemanfaatan IoT dalam sistem keamanan kendaraan bermotor menjadi salah satu solusi yang potensial untuk mengatasi permasalahan pencurian sepeda motor. Dengan mengintegrasikan teknologi IoT dan Global Positioning System (ublox neo 6 M), lokasi kendaraan dapat dipantau secara real time dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi. Menurut Kaplan dan Hegarty (2017), ublox neo 6 M merupakan sistem navigasi berbasis satelit yang mampu memberikan informasi posisi, kecepatan, dan waktu secara kontinu, sehingga sangat sesuai diterapkan dalam sistem pelacakan kendaraan.

Meskipun teknologi Global Positioning System (ublox neo 6 M) banyak digunakan dalam sistem pelacakan kendaraan, teknologi ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Akurasi ublox neo 6 M sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti gedung tinggi, cuaca, serta kualitas penerimaan sinyal satelit, sehingga pada kondisi tertentu dapat terjadi keterlambatan atau kesalahan posisi (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Wasle,



2020). Selain itu, perangkat ublox neo 6 M profesional yang memiliki akurasi tinggi umumnya memiliki harga yang relatif mahal dan lebih banyak digunakan pada kebutuhan industri atau navigasi khusus (Kaplan & Hegarty, 2017).

Sebagai solusi, penelitian ini mengembangkan sistem pelacak sepeda motor berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan modul ublox neo 6 M berbiaya rendah yang tetap mampu menyediakan data lokasi secara real time. Penggunaan modul ublox neo 6 M yang terintegrasi dengan mikrokontroler memungkinkan sistem menjadi lebih ekonomis dan mudah diterapkan dibandingkan perangkat ublox neo 6 M konvensional yang bersifat mandiri. Menurut Sethi dan Sarangi (2017), integrasi IoT dengan sensor lokasi seperti ublox neo 6 M dapat meningkatkan efisiensi sistem monitoring karena perangkat mampu mengirimkan data secara otomatis melalui jaringan internet. Selain itu, penambahan fitur geofencing dan notifikasi real time memberikan keunggulan tambahan karena sistem tidak hanya menampilkan lokasi kendaraan, tetapi juga mampu memberikan peringatan dini ketika kendaraan keluar dari wilayah aman (Zhang, Chen, & Li, 2020).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan sistem pelacakan berbasis IoT mampu meningkatkan efektivitas monitoring kendaraan serta memberikan respons yang lebih cepat terhadap potensi pencurian (Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari, & Ayyash, 2016). Oleh karena itu, penggunaan modul ublox neo 6 M berbiaya rendah yang terintegrasi dengan aplikasi Android menjadi solusi yang relevan untuk menghadirkan sistem pelacakan yang lebih terjangkau tanpa mengurangi fungsi utama sistem. Menurut Gubbi et al. (2019), penggunaan perangkat IoT dengan komponen berbiaya rendah merupakan salah satu strategi utama dalam pengembangan sistem cerdas yang dapat diimplementasikan secara luas di masyarakat.

Penerapan sistem notifikasi secara real time juga menjadi aspek penting dalam sistem keamanan kendaraan berbasis IoT. Notifikasi yang dikirimkan langsung ke perangkat pengguna, seperti smartphone berbasis Android, memungkinkan pemilik kendaraan memperoleh informasi secara cepat ketika terjadi pergerakan mencurigakan. Menurut Pressman dan Maxim (2020), sistem real time memiliki keunggulan dalam hal responsivitas dan kecepatan penyampaian informasi, yang sangat dibutuhkan dalam sistem keamanan.

Selain fitur pelacakan lokasi, penerapan teknologi geofencing menjadi salah satu komponen penting dalam meningkatkan keamanan kendaraan bermotor. Geofencing merupakan teknik pembatasan wilayah virtual yang memungkinkan sistem mendeteksi ketika suatu objek keluar atau masuk ke area tertentu yang telah ditentukan sebelumnya. Menurut Zhang et al. (2020), penggunaan geofencing dalam sistem keamanan kendaraan dapat memberikan peringatan dini kepada pengguna apabila kendaraan bergerak di luar zona aman, sehingga tindakan pencegahan dapat segera dilakukan.

Keberadaan fitur geofencing akan semakin optimal apabila didukung dengan sistem notifikasi real time. Notifikasi real time memungkinkan sistem untuk mengirimkan informasi secara langsung kepada pengguna tanpa adanya jeda waktu yang signifikan. Informasi tersebut dapat berupa peringatan perpindahan lokasi, pelanggaran batas wilayah, maupun kondisi darurat lainnya. Pressman dan Maxim (2020) menyatakan bahwa sistem real time sangat dibutuhkan dalam aplikasi yang berkaitan dengan keamanan karena kecepatan penyampaian informasi menjadi faktor utama dalam efektivitas sistem.

Pemanfaatan perangkat berbasis Android sebagai media monitoring juga menjadi pertimbangan penting dalam pengembangan sistem ini. Android merupakan sistem operasi mobile yang banyak digunakan oleh masyarakat dan memiliki fleksibilitas tinggi dalam pengembangan aplikasi. Menurut Safaat (2018), Android menyediakan berbagai Application Programming Interface (API) yang mendukung integrasi dengan perangkat IoT serta layanan berbasis lokasi, sehingga sangat sesuai digunakan sebagai platform monitoring kendaraan.



2. KAJIAN TEORITIS

Internet Of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan salah satu perkembangan teknologi informasi yang memungkinkan berbagai perangkat fisik untuk saling terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan internet. Perangkat-perangkat tersebut dilengkapi dengan sensor, aktuator, serta sistem komunikasi yang memungkinkan pengumpulan dan pertukaran data secara otomatis tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung. Konsep Internet of Things pertama kali diperkenalkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999, yang menjelaskan bahwa objek fisik dapat dihubungkan ke internet untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi pengolahan informasi (Bonomi, 2017).

IoT memiliki beberapa karakteristik utama, antara lain konektivitas, heterogenitas perangkat, skalabilitas, dan kemampuan pemrosesan data secara otomatis. Sethi dan Sarangi (2017) menyatakan bahwa konektivitas menjadi aspek utama dalam IoT karena seluruh perangkat harus mampu terhubung ke jaringan internet agar dapat saling berkomunikasi. Selain itu, perangkat IoT bersifat heterogen, artinya terdiri dari berbagai jenis perangkat dengan fungsi dan spesifikasi yang berbeda, namun tetap dapat beroperasi dalam satu sistem terintegrasi.

Secara umum, arsitektur Internet of Things terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu perception layer, network layer, dan application layer. Menurut Gubbi et al. (2019), perception layer berfungsi sebagai lapisan pengumpulan data yang terdiri dari sensor dan perangkat keras untuk mendeteksi kondisi lingkungan, seperti lokasi, suhu, atau pergerakan. Network layer berfungsi untuk mengirimkan data yang telah dikumpulkan melalui jaringan komunikasi, baik menggunakan jaringan seluler, Wi-Fi, maupun protokol komunikasi lainnya. Application layer merupakan lapisan yang menyediakan layanan kepada pengguna dalam bentuk aplikasi atau sistem monitoring.

Unblok Neo 6 M

Ublox neo 6 M merupakan sistem navigasi berbasis satelit yang digunakan untuk menentukan posisi suatu objek di permukaan bumi secara akurat dan real time. ublox neo 6 M dikembangkan oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat dan awalnya digunakan untuk kepentingan militer, namun seiring perkembangan teknologi, sistem ini kini telah digunakan secara luas untuk kebutuhan sipil, termasuk navigasi, pemetaan, dan sistem pelacakan kendaraan. Menurut Kaplan dan Hegarty (2017), ublox neo 6 M mampu menyediakan informasi posisi, kecepatan, dan waktu dengan tingkat akurasi yang tinggi melalui sinyal satelit yang dipancarkan ke penerima (receiver) di permukaan bumi.

Sistem ublox neo 6 M bekerja dengan memanfaatkan konstelasi satelit yang mengorbit bumi dan secara terus-menerus memancarkan sinyal radio ke arah bumi. Receiver ublox neo 6 M yang terdapat pada perangkat pengguna akan menerima sinyal dari beberapa satelit sekaligus untuk menentukan posisi berdasarkan metode trilaterasi. Misra dan Enge (2016) menjelaskan bahwa untuk menentukan posisi secara dua dimensi diperlukan minimal tiga satelit, sedangkan untuk posisi tiga dimensi diperlukan minimal empat satelit.

Secara umum, Global Positioning System terdiri dari tiga segmen utama, yaitu space segment, control segment, dan user segment. Space segment terdiri dari satelit ublox neo 6 M yang mengorbit bumi dan bertugas memancarkan sinyal navigasi. Control segment berfungsi untuk mengendalikan dan memantau kinerja satelit agar tetap berada pada orbit yang tepat serta memastikan keakuratan sinyal. User segment merupakan perangkat penerima ublox neo 6 M yang digunakan oleh pengguna untuk menerima dan mengolah sinyal satelit menjadi informasi posisi. Pembagian segmen ini dijelaskan secara rinci oleh Kaplan dan Hegarty (2017) dalam kajiannya mengenai sistem navigasi satelit.

Geofencing

Geofencing merupakan teknologi berbasis lokasi yang memungkinkan pembuatan batas wilayah virtual pada suatu area geografis tertentu. Batas wilayah ini digunakan untuk



memantau pergerakan suatu objek dan memberikan respons otomatis ketika objek tersebut keluar atau masuk ke area yang telah ditentukan. Menurut Zhang et al. (2020), geofencing adalah teknik yang memanfaatkan data koordinat lokasi untuk menciptakan zona virtual yang dapat digunakan sebagai sistem kontrol dan pemantauan berbasis lokasi.

Teknologi geofencing bekerja dengan memanfaatkan data lokasi yang diperoleh dari sistem penentuan posisi, seperti ublox neo 6 M. Data koordinat yang dihasilkan oleh ublox neo 6 M akan dibandingkan dengan batas wilayah geofencing yang telah ditentukan sebelumnya. Apabila posisi objek berada di luar atau masuk ke dalam batas wilayah tersebut, sistem akan memicu suatu peristiwa (event) berupa notifikasi atau tindakan tertentu. Karim dan Rahman (2019) menjelaskan bahwa mekanisme ini memungkinkan sistem untuk mendeteksi pergerakan objek secara otomatis tanpa memerlukan pengawasan manual secara terus-menerus.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk ke dalam kategori Penelitian Rekayasa (*Engineering Research*). Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif eksperimental. Penelitian ini dilakukan secara sistematis melalui tahapan yang berurutan, yaitu identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem, implementasi & perakitan, pemrograman & integrasi IoT, pengujian parameter, dan analisis hasil. Sumber data penelitian ini dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer tersebut meliputi hasil pembacaan titik koordinat aktual (*Latitude* dan *Longitude*) dari modul Ublox NEO-6M, hasil kalkulasi matematis jarak (dalam meter) dari algoritma *geofencing* pada ESP32, serta catatan waktu tunda (*delay*) transmisi pesan peringatan SMS (dalam detik) dari modul SIM800L ke *smartphone* pengguna. Sementara itu, data sekunder berupa titik koordinat referensi yang diperoleh dari layanan pemetaan digital publik, yaitu *Google Maps*, serta *datasheet* komponen elektronik dan artikel ilmiah terdahulu. Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data dilakukan dengan observasi dan pengujian lapangan (*field testing*), perekaman data koordinat (akurasi GPS), pengukuran waktu tunda (*delay*) transmisi SMS, validasi dan ekstraksi log data *geofencing*, serta studi dokumentasi dan *datasheet*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi mikrokontroler, modul GNSS, modul komunikasi jaringan, modul regulator tegangan, sumber daya, papan sirkuit & penghubung, dan enclosure. Adapun Alat penelitian mencakup Komputer / Laptop, Smartphone Android, Solder dan Multimeter, Arduino IDE (Versi 2.3.10), Firebase Realtime Database, dan Leaflet.js.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Sistem

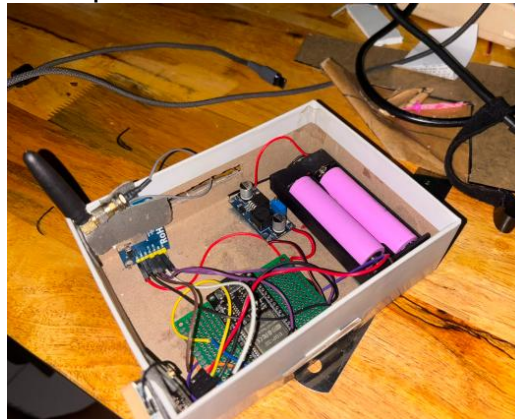
Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras merupakan wujud fisik akhir dari integrasi berbagai komponen elektronik yang membentuk sistem pelacak kendaraan secara utuh dan mandiri. Purwarupa yang dihasilkan mencakup mikrokontroler ESP32 DevKit sebagai pusat komputasi, modul GNSS Ublox NEO-6M untuk penentuan koordinat, modul GSM SIM800L Ver.2 sebagai aktuator komunikasi jaringan, baterai Li-Ion 18650 sebagai sumber daya mandiri, serta modul *step-down* LM2596.

Keseluruhan komponen tersebut telah disatukan secara solid pada sebuah papan sirkuit (*perfboard*) dengan manajemen jalur kelistrikan yang mengadopsi sistem *common ground*. Pada implementasi akhir ini, distribusi kelistrikan telah dikonfigurasi sedemikian rupa di mana modul *step-down* menyuplai tegangan secara terpisah dan optimal khusus untuk modul SIM800L, yang secara efektif mencegah terjadinya penurunan tegangan (*drop voltage*) saat alat melakukan transmisi SMS.

Hasil akhir dari integrasi perangkat keras ini ditempatkan ke dalam sebuah wadah pelindung (*enclosure*) yang ringkas. Penempatan di dalam *enclosure* ini tidak hanya berfungsi melindungi sistem dari paparan debu dan benturan fisik, tetapi juga dirancang agar posisi

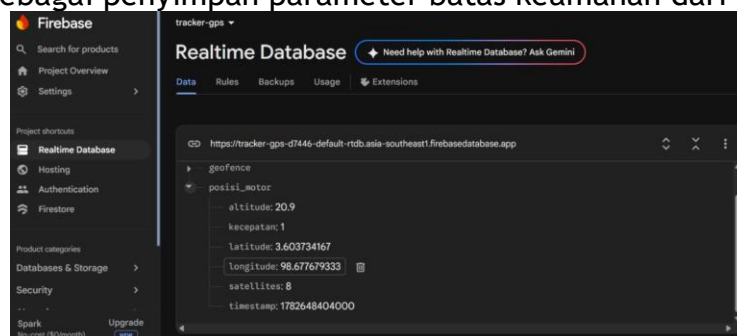
antena GSM dan antenna keramik GPS berada pada orientasi yang terbuka (bebas interferensi). Hal ini memastikan alat dapat menangkap sinyal satelit dan jangkauan seluler secara maksimal saat diaplikasikan langsung pada sepeda motor.



Gambar 1 Penempatan Rangkaian pada Wadah Pelindung (*Enclosure*)

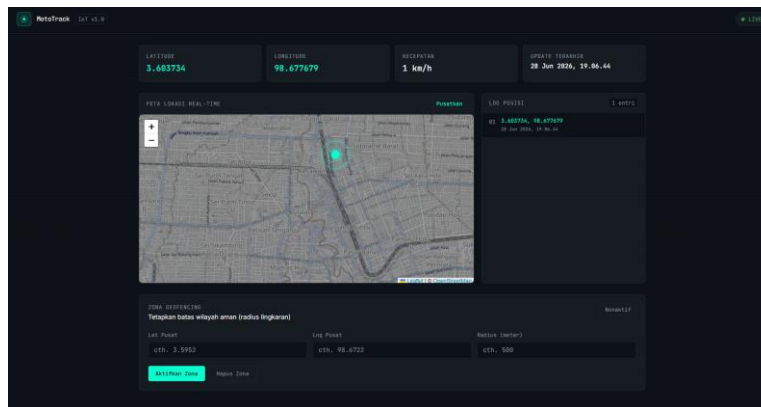
Implementasi Sistem IoT dan Web Dashboard

Implementasi sisi perangkat lunak mencakup penyiapan basis data *cloud* sebagai perantara aliran informasi dan pembuatan antarmuka web sebagai media pemantauan pengguna. Penyimpanan dan sinkronisasi data dikelola menggunakan *Firebase Realtime Database* dengan format JSON. Seperti yang terlihat pada Gambar 2, struktur *database* dikonfigurasi ke dalam dua simpul (*node*) utama. Simpul *posisi_motor* menampung aliran data telemetri (*altitude*, *kecepatan*, *latitude*, *longitude*) yang dikirimkan oleh ESP32 secara periodik, sedangkan simpul *geofence* bertindak sebagai penyimpanan parameter batas keamanan dari pengguna.



Gambar 2 Struktur Data pada Firebase Realtime Database

Sebagai antarmuka pemantauan (*front-end*), dibangun sebuah *Web Dashboard* (MotoTrack IoT v1.0) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. Antarmuka ini terintegrasi dengan pustaka *Leaflet.js* untuk merender peta digital interaktif. Peta ini secara dinamis memusatkan titik penanda (*marker*) pada lokasi aktual kendaraan berdasarkan data dari *Firebase*. Selain itu, *dashboard* menyediakan panel kontrol yang memungkinkan pemilik kendaraan untuk menetapkan titik pusat koordinat serta merancang rentang radius aman *geofencing* secara instan.

Gambar 3 Antarmuka Web Dashboard *MotoTrack IoT***Hasil Pengujian Sistem****Hasil Pengujian Akurasi Koordinat GPS (Ublox NEO-6M)****Tabel 1 Hasil Pengujian Akurasi Titik Koordinat GPS**

No	Lokasi Pengujian	Koordinat Alat (Ublox)	Koordinat Referensi (Maps)	Selisih Jarak (Error)
1	Jalan Gaharu	3.605110, 98.676833	3.605114, 98.676830	1.8 meter
2	Gang Amat Baru	3.603734, 98.677679	3.603730, 98.677682	2.1 meter
3	Kampus UMSU	3.614013, 98.676398	3.614016, 98.676392	1.5 meter
4	Jalan Sutomo Ujung	3.606202, 98.678105	3.606198, 98.678110	3.2 meter
5	Jalan Bambu II	3.602505, 98.675402	3.602500, 98.675406	2.5 meter
6	Jalan Perintis	3.598210, 98.680120	3.598205, 98.680125	1.9 meter
7	Area Pasar Gaharu	3.604500, 98.677200	3.604508, 98.677210	3.5 meter
8	Jalan Krakatau	3.608900, 98.682300	3.608905, 98.682305	2.8 meter
9	Simpang Glugur	3.609500, 98.674500	3.609510, 98.674510	2.6 meter
10	Area Parkir Umum	3.602100, 98.679000	3.602105, 98.679008	2.2 meter

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel di atas, rata-rata selisih jarak (*margin error*) dari 10 titik pengujian tercatat secara presisi sebesar 2,41 meter. Analisis lebih mendalam terhadap sebaran data tersebut menunjukkan adanya fluktuasi akurasi yang dipengaruhi oleh profil hambatan fisik di sekitar lokasi pengujian. Pada area dengan kepadatan infrastruktur tinggi (seperti Area Pasar Gaharu dengan *error* 3,5 meter), deviasi jarak cenderung sedikit melebar, yang umumnya diakibatkan oleh fenomena pemantulan sinyal satelit pada gedung atau objek solid di sekitarnya (*multipath effect*).

Meskipun terdapat variasi deviasi tersebut, performa komputasi modul Ublox NEO-6M secara keseluruhan terbukti sangat konsisten dan stabil. Seluruh titik pengujian menghasilkan tingkat kesalahan yang masih berada jauh di bawah ambang batas toleransi maksimal sistem navigasi sipil standar, yakni 5 meter. Hasil analisis empiris ini secara meyakinkan menegaskan bahwa modul Ublox NEO-6M sangat layak dan andal untuk digunakan sebagai sensor utama dalam sistem pelacakan mobilitas kendaraan secara *real-time*.

**Hasil Pengujian Waktu Tunda (Delay) Pengiriman Notifikasi SMS****Tabel 2 Hasil Pengujian Waktu Tunda Notifikasi SMS**

No	Lokasi	Kondisi Sinyal	Waktu Tunda (Detik)	Status Pesan
1	Jalan Gaharu	Stabil	3.8	Peringatan! Motor keluar zona aman sejauh 1100m. peta: https://maps.app.goo.gl/1GLVFAGBUwmqwmPAA=LAT,LNG3.605110,98.676833
2	Gang Amat Baru	Stabil	4.1	Peringatan! Motor keluar zona aman sejauh 1300m. peta: https://maps.app.goo.gl/aynkVfa3WR1i6Eg86=LAT,LNG3.603734,98.677679
3	Kampus UMSU	Stabil	4.5	Peringatan! Motor keluar zona aman sejauh 1500m. peta: https://maps.app.goo.gl/PPZ6iwebSY4k1ivM7=LAT,LNG3.614016,98.676392
4	Jalan Sutomo Ujung	Tidak Ada	> 60	Gagal (Time Out)
5	Jalan Bambu II	Stabil	5.2	Peringatan! Motor keluar zona aman sejauh 1600m. peta: https://maps.app.goo.gl/tifJTEA6arqZEze6=LAT,LNG3.602505,98.675402
6	Jalan Perintis	Sedang	6.8	Peringatan! Motor keluar zona aman sejauh 1800m. peta: https://maps.app.goo.gl/ZN5NAhkfzaPauVLd7=LAT,LNG3.609500,98.674500
7	Area Pasar Gaharu	Sedang	7.1	Peringatan! Motor keluar zona aman sejauh 1900m. peta: https://maps.app.goo.gl/y2eAvvHJNdaPw8SKA=LAT,LNG3.605717,98.676834
8	Jalan Krakatau	Lemah	12.5	Peringatan! Motor keluar zona aman sejauh 2000m. peta: https://maps.app.goo.gl/ZEBv7ttwxHZrdBZM7=LAT,LNG3.602100,98.679000
9	Simpang Glugur	Lemah	15.2	Peringatan! Motor keluar zona aman sejauh 2100m. peta: https://maps.app.goo.gl/ruxXCKjQVVEKm2ou7=LAT,LNG3.608900,98.682300
10	Area Parkir Umum	Tidak Ada	> 60	Gagal (Time Out)

Berdasarkan data empiris yang dihimpun pada Tabel di atas, terlihat adanya korelasi linier yang sangat kuat antara stabilitas sinyal jaringan seluler dengan metrik latensi pengiriman pesan. Pada titik lokasi dengan kondisi jangkauan sinyal yang stabil, waktu tunda rata-rata berada pada rentang yang cukup optimal, yakni 4 hingga 7,1 detik. Namun, ketika perangkat diuji pada area dengan tingkat hambatan fisik yang tinggi seperti di dalam gedung atau area padat bangunan—terjadi degradasi sinyal seluler yang signifikan, sehingga waktu tunda meningkat secara drastis hingga mencapai 12,5 hingga 15,2 detik.

Lebih lanjut, pengujian pada ruang tertutup dengan material penghalang ekstrem (seperti parkir *basement* dan parkir tertutup logam) menunjukkan terjadinya fenomena pelemahan sinyal secara total (*signal attenuation*). Pada kondisi *blank spot* tersebut, proses transmisi mengalami kegagalan atau putus koneksi (*time out*) meskipun modul GSM dalam keadaan aktif. Temuan ini secara ilmiah membuktikan bahwa kinerja pengiriman notifikasi dari modul SIM800L sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan topografis. Tingkat penetrasi sinyal dan cakupan dari *Base Transceiver Station* (BTS) terdekat menjadi variabel penentu utama yang mengontrol tingkat keandalan dan kecepatan respons sistem peringatan dini pada perangkat pelacak ini.

Hasil Pengujian Skenario Geofencing dan Algoritma Anti-Spam**Tabel 3 Pengujian Skenario Pelanggaran Geofencing (Batas 1 km)**

No	Skenario Pergerakan Kendaraan	Estimasi Jarak Aktual	Status Kendaraan	Pemicu Peringatan	Logika Anti-Spam (Flag)
----	-------------------------------	-----------------------	------------------	-------------------	-------------------------



				(SMS)	
1	Terparkir di area aman (pusat awal)	10 meter	Di dalam zona	Tidak Aktif	False (Reset)
2	Bergerak normal di sekitar lingkungan	450 meter	Di dalam zona	Tidak Aktif	False (Reset)
3	Bergerak mendekati perbatasan zona	950 meter	Di dalam zona	Tidak Aktif	False (Reset)
4	Melewati perbatasan 1 km (keluar zona)	~ 1.1 km (1100m)	Di luar zona	Aktif (Dikirim 1x)	Berubah menjadi True
5	Terus bergerak menjauh dari lokasi	~ 2.5 km (2500m)	Di luar zona	Tidak Aktif (Ditahan)	Tetap True (Terkunci)
6	Kendaraan dibawa menjauh dengan cepat	~ 5.0 km (5000m)	Di luar zona	Tidak Aktif (Ditahan)	Tetap True (Terkunci)
7	Berbalik arah kembali mendekati batas	~ 1.2 km (1200m)	Di luar zona	Tidak Aktif (Ditahan)	Tetap True (Terkunci)
8	Fluktuasi koordinat tepat di garis batas	1005 meter	Di luar zona	Tidak Aktif (Ditahan)	Tetap True (Terkunci)
9	Masuk kembali ke dalam radius aman	980 meter	Masuk zona	Tidak Aktif	Berubah menjadi False
10	Kembali diparkir di pusat awal	15 meter	Di dalam zona	Tidak Aktif	False (Reset)

Berdasarkan hasil simulasi skenario pergerakan pada Tabel di atas, komputasi *geofencing* terbukti beroperasi dengan tingkat presisi yang sangat tinggi. Selama kendaraan bermanuver dalam radius kurang dari 1000 meter, sistem secara konsisten mengklasifikasikan status kendaraan berada di dalam zona aman. Transisi status secara instan terjadi ketika kalkulasi jarak absolut melampaui batas 1 kilometer. Pada titik pelanggaran (*breach point*) tersebut, algoritma langsung memicu eksekusi pengiriman notifikasi peringatan SMS tunggal kepada pengguna.

Keandalan sistem semakin terlihat pada efektivitas penerapan logika *anti-spam*. Ketika simulasi pergerakan diteruskan menjauh (misalnya hingga jarak 5 kilometer) maupun saat terjadi fluktuasi titik koordinat di sekitar garis batas, mikrokontroler berhasil menahan (*hold*) instruksi pengiriman pesan lanjutan. Hal ini terjadi karena variabel *flag boolean* langsung dikunci (*True*) sesaat setelah SMS pertama terkirim. Mekanisme ini sangat esensial untuk mencegah terjadinya redundansi pengiriman data (banjir pesan) yang berpotensi menguras pulsa operator secara tidak efisien (*cost-ineffective*). Status kunci sistem (*flag*) tersebut baru akan di-reset kembali (*False*) ketika algoritma mendeteksi bahwa kendaraan telah kembali memasuki zona radius aman.

```

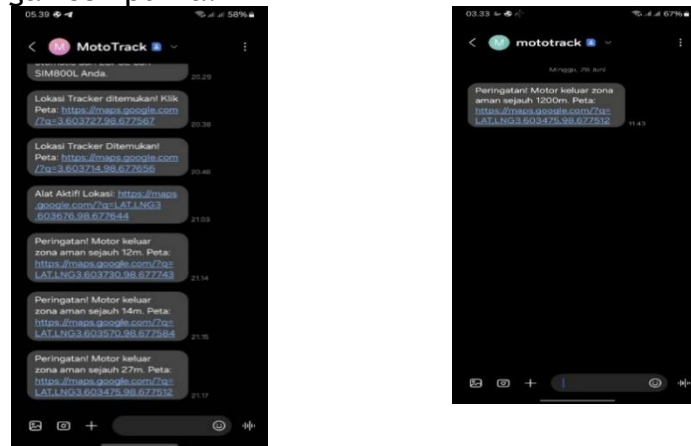
21:16:35.122 -> [GEOFENCE] Jarak dari pusat: 22.70 m (Batas: 10 m)
21:16:39.662 -> [GNSS] Fix -> Lat:3.603513 | Lng:98.677532 | Satelit:10
21:16:40.510 -> [GEOFENCE] Jarak dari pusat: 22.46 m (Batas: 1000 m)
21:16:40.510 -> [GEOFENCE] Kendaraan kembali ke dalam zona aman.
21:16:44.692 -> [GNSS] Fix -> Lat:3.603488 | Lng:98.677614 | Satelit:9
21:16:45.161 -> [GEOFENCE] Jarak dari pusat: 21.27 m (Batas: 1000 m)
21:16:49.668 -> [GNSS] Fix -> Lat:3.603503 | Lng:98.677590 | Satelit:10
21:16:50.036 -> [GEOFENCE] Jarak dari pusat: 20.32 m (Batas: 1000 m)
21:16:54.662 -> [GNSS] Fix -> Lat:3.603522 | Lng:98.677555 | Satelit:9
21:16:55.448 -> [GEOFENCE] Jarak dari pusat: 20.18 m (Batas: 1000 m)
21:16:59.686 -> [GNSS] Fix -> Lat:3.603522 | Lng:98.677534 | Satelit:8
21:17:00.276 -> [GEOFENCE] Jarak dari pusat: 21.53 m (Batas: 1000 m)
21:17:04.662 -> [GNSS] Fix -> Lat:3.603524 | Lng:98.677523 | Satelit:8
21:17:05.032 -> [GEOFENCE] Jarak dari pusat: 22.11 m (Batas: 1000 m)

```

Gambar 4 Log Aktivitas Sistem dan Kalkulasi Jarak (Batas 1000m) pada Serial Monitor

Untuk mengamati proses di balik layar (*backend process*), aktivitas komputasi juga divalidasi melalui log *Serial Monitor* pada perangkat lunak Arduino IDE. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4, mikrokontroler melakukan *polling* secara kontinu untuk memperbarui status penguncian satelit (*GNSS Fix*) dan mencetak hasil kalkulasi jarak secara

real-time bersanding dengan parameter batasannya (Batas: 1000 m). Log tersebut juga merekam keberhasilan eksekusi pembukaan kunci pesan yang ditandai dengan instruksi "[GEOFENCE] Kendaraan kembali ke dalam zona aman", membuktikan bahwa siklus *reset* pada algoritma berjalan dengan sempurna.



Gambar 5 (a) Notifikasi SMS Peringatan Geofencing dan (b) Titik Lokasi Aktual pada Google Maps

Sebagai hasil akhir (*output*), Gambar 5(a) mengonfirmasi keberhasilan modul seluler dalam mentransmisikan *payload* peringatan ke perangkat *smartphone* pengguna. Sistem secara dinamis mampu menyisipkan parameter jarak pelanggaran yang dihitung saat itu juga (misalnya "sejauh 12m", "14m", dsb., pada kalibrasi radius uji coba jarak dekat). Notifikasi tersebut secara otomatis memformat koordinat pelanggaran menjadi tautan *Uniform Resource Identifier* (URI) Google Maps. Ketika tautan tersebut diakses (Gambar 5(b)), antarmuka peta digital langsung memproyeksikan titik pin koordinat aktual secara presisi. Fitur integrasi ini menegaskan bahwa sistem tidak hanya mendeteksi anomali spasial, tetapi juga menyajikan visualisasi geolokasi (*geolocation*) yang sangat intuitif untuk mempercepat tindakan pengamanan oleh pemilik kendaraan.

Kelebihan dan Keterbatasan Sistem

Kelebihan Sistem

- Proteksi Proaktif dan Otonom:** Berbeda dengan kunci ganda atau alarm pabrik yang bersifat pasif, sistem ini beroperasi secara otonom dalam memonitor parameter jarak. Fitur geofencing memungkinkan sistem untuk langsung mendeteksi pelanggaran zona dan memberikan peringatan dini (*early warning*) tanpa memerlukan pemicu atau intervensi manual dari pengguna.
- Efisiensi Manajemen Daya dan Transmisi Data:** Secara hardware, penggunaan modul regulator tegangan (Buck Converter LM2596) secara independen berhasil mengamankan modul SIM800L dari masalah drop voltage. Secara software, penerapan logika anti-spam (flag boolean) sangat efektif mencegah terjadinya redundansi pengiriman SMS. Hal ini menjadikan sistem sangat efisien dari segi konsumsi daya baterai dan hemat dalam biaya operasional (pulsa seluler).
- Presisi Spasial dan Integrasi Pemetaan Universal:** Modul Ublox NEO-6M terbukti memiliki presisi spasial yang tinggi dengan rata-rata deviasi (*margin error*) hanya 2,41 meter. Selain itu, sistem secara cerdas mengonversi titik koordinat mentah menjadi *Uniform Resource Identifier* (URI) yang langsung terintegrasi dengan ekosistem Google Maps, sehingga visualisasi pelacakan menjadi sangat intuitif bagi pengguna.
- Aksesibilitas dan Pemantauan Terpusat:** Dukungan Firebase Realtime Database memungkinkan latensi pembaruan data yang sangat minim. Pemilik kendaraan dapat memantau status telemetri motor secara asinkron dan terpusat dari mana saja melalui Web Dashboard (MotoTrack IoT v1.0).



Keterbatasan Sistem

- Dependensi Absolut terhadap Infrastruktur Telekomunikasi: Keandalan sistem peringatan dini (SMS) dan pengiriman data ke cloud sangat bergantung pada stabilitas dan penetrasi sinyal seluler (GSM/2G) dari Base Transceiver Station (BTS). Ketika kendaraan memasuki area blank spot atau mengalami atenuasi sinyal ekstrem (seperti di basement tertutup logam), sistem akan kehilangan kapabilitas transmisi datanya untuk sementara waktu.
- Kerentanan Sinyal Satelit terhadap Hambatan Fisik: Kinerja modul GPS (Ublox NEO-6M) sangat sensitif terhadap hambatan topografis. Berada di bawah kanopi gedung bertingkat tinggi (urban canyon) atau cuaca yang sangat buruk dapat menyebabkan terjadinya multipath effect (pemantulan sinyal), yang berpotensi memperpanjang waktu penguncian satelit (GNSS Fix time) atau menurunkan akurasi koordinat.
- Ketiadaan Aktuasi Mekanis Jarak Jauh: Sistem ini dirancang murni pada arsitektur pemantauan dan peringatan (monitoring and alerting system). Alat ini belum dilengkapi dengan modul aktuator mekanis maupun kelistrikan (seperti modul relay) yang terhubung ke Electronic Control Unit (ECU) atau Capacitor Discharge Ignition (CDI) motor, sehingga sistem belum memiliki kemampuan untuk memutus arus pengapian mesin (engine cut-off) secara paksa dari jarak jauh.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pelacak kendaraan yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 DevKit, modul GNSS Ublox NEO-6M, dan modul komunikasi SIM800L Ver.2. Secara *software*, sistem ini sukses disinkronkan dengan *Firestore Realtime Database* dan *Web Dashboard* sebagai pusat pemantauan visual. Berdasarkan uji lapangan, modul Ublox NEO-6M terbukti memiliki presisi spasial yang sangat tinggi dengan rata-rata deviasi (*margin error*) hanya sebesar 2,41 meter dibandingkan titik referensi *ground truth*. Logika komputasi spasial (*geofencing*) yang ditanamkan pada mikrokontroler berhasil beroperasi secara presisi dalam mendeteksi anomali pergerakan kendaraan yang melewati batas radius 1 kilometer. Selain itu, penerapan mekanisme *state machine* berupa logika *anti-spam* (*flag boolean*) terbukti sangat efektif menahan (*hold*) transmisi pesan secara redundan saat kendaraan terus menjauh, sehingga sistem menjadi sangat efisien dalam penggunaan pulsa seluler. Sistem notifikasi peringatan berhasil mentransmisikan *payload* berupa jarak pelanggaran dan tautan URI Google Maps secara dinamis ke *smartphone* pengguna. Pada kondisi jangkauan sinyal *Base Transceiver Station* (BTS) yang stabil, waktu tunda (*delay*) pengiriman berada pada rentang yang optimal, yakni rata-rata 4 hingga 7,1 detik. Namun, sistem ini terbukti memiliki dependensi yang tinggi terhadap infrastruktur telekomunikasi, di mana pelemahan sinyal di area tertutup (*blank spot*) dapat menyebabkan kegagalan transmisi (*time out*).

DAFTAR REFERENSI

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2016). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2019). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2020). *GNSS - Global Navigation Satellite Systems: ublox neo 6 M, GLONASS, Galileo, and more*. Springer.
- Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (2017). *Understanding ublox neo 6 M /GNSS: Principles and applications* (3rd ed.). Artech House.
- Karim, R., & Rahman, M. (2019). Geofencing based vehicle tracking system. *International Journal of Computer Applications*, 178(7), 1-6.



- Misra, P., & Enge, P. (2016). *Global positioning system: Signals, measurements, and performance*. Ganga-Jamuna Press.
- Pratama, I. P. A. E., & Hidayat, T. (2018). Analisis sistem keamanan kendaraan berbasis IoT. *Jurnal Informatika*, 12(1), 45-53.
- Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). *Software engineering: A practitioner's approach* (9th ed.). McGraw-Hill.
- Safaat, N. (2018). *Pemrograman aplikasi mobile smartphone dan tablet PC berbasis Android*. Informatika Bandung.
- Sethi, P., & Sarangi, S. R. (2017). Internet of Things: Architectures, protocols, and applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 1-25.
- Susanto, A. (2019). Sistem keamanan kendaraan bermotor berbasis teknologi informasi. *Jurnal Sistem Informasi*, 15(2), 85-92.
- Zhang, Y., Chen, M., & Li, S. (2020). Vehicle tracking system based on ublox neo 6 M and geofencing technology. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(5), 324-330.