https://doi.org/10.37817/ikraith-informatika.v11i1
P-ISSN : 2580-4316
E-ISSN : 2654-8054

PENGEMBANGAN APLIKASI BERBASIS WEB UNTUK PEMANTAUAN DAN PEMBATASAN WILAYAH OPERASIONAL KENDARAAN MENGGUNAKAN GPS, GEOFENCE, DAN N8N

Geovanio Sarmento Pereira[1], Muhammad Anno Suwarno[2]
[1,2]Program Studi Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Persada Indonesia Y.A.I, Jakarta, Indonesia
e-mail: sarmentovanio@gmail.com[1], suwarno@upi-yai.ac.id[2]

Abstrak

Kebutuhan akan sistem pengelolaan armada kendaraan yang efektif dan responsif terus meningkat, khususnya pada sektor transportasi dan logistik. Sebagian besar sistem pemantauan yang tersedia saat ini masih bersifat pasif karena hanya menampilkan lokasi kendaraan tanpa mekanisme pembatasan wilayah operasional dan notifikasi otomatis yang terintegrasi. Penelitian ini bertujuan membangun aplikasi berbasis web untuk memantau dan membatasi wilayah operasional kendaraan menggunakan Global Positioning System (GPS), geofence, dan platform otomasi alur kerja N8N. Sistem menerapkan dual geofence mode, yaitu mode poligon manual yang divalidasi menggunakan algoritma Ray Casting (point-in-polygon) dan mode berbasis provinsi yang memanfaatkan data GeoJSON 38 provinsi Indonesia melalui pustaka Turf.js. Status kepatuhan kendaraan dikelola secara bertingkat (normal, warning, penalty) dengan toleransi waktu 30 menit, dilengkapi mekanisme cooldown notifikasi 5 menit untuk mencegah pengiriman pemberitahuan berulang. Notifikasi multi-kanal (email dan WhatsApp) dikirimkan secara otomatis melalui workflow N8N Cloud. Sistem dibangun dengan arsitektur three-tier menggunakan Vue.js 3, Node.js/ Express.js, dan MongoDB, serta dilengkapi autentikasi JWT dan isolasi data multi-user. Pengujian dilakukan dengan metode Black Box Testing terhadap dua belas skenario fungsional utama. Hasil pengujian menunjukkan seluruh skenario berjalan sesuai rancangan, dengan latensi rata-rata algoritma Ray Casting sebesar 12 milidetik, Turf.js sebesar 45 milidetik, dan response time API rata-rata 115 milidetik. Sistem terbukti mampu mendeteksi kendaraan yang keluar dari batas area secara akurat, mengirimkan notifikasi secara real-time, serta menjaga isolasi data antarpengguna dengan baik.

Kata kunci: *dual geofence mode; GPS; monitoring kendaraan; N8N; notifikasi otomatis*

Abstract

The need for an effective and responsive vehicle fleet management system continues to grow, particularly in the transportation and logistics sectors. Most existing monitoring systems remain passive, displaying only vehicle location without automated area restriction or integrated notification mechanisms. This study aims to build a web-based application for monitoring and restricting vehicle operational areas using the Global Positioning System (GPS), geofencing, and the N8N workflow automation platform. The system implements a dual geofence mode: a manually drawn polygon mode validated with the Ray Casting (point-in-polygon) algorithm, and a province-based mode that utilizes GeoJSON boundary data of 38 Indonesian provinces through the Turf.js library. Vehicle compliance status is managed through a tiered mechanism (normal, warning, penalty) with a 30-minute time tolerance, complemented by a 5-minute notification cooldown to prevent repeated alerts. Multi-channel notifications (email and WhatsApp) are dispatched automatically through an N8N Cloud workflow. The system is built on a three-tier architecture using Vue.js 3, Node.js/Express.js, and MongoDB, and is equipped with JWT authentication and multi-user data isolation. Testing was carried out using the Black Box Testing method across twelve core functional scenarios. The results show that all scenarios performed as designed, with an average latency of 12 milliseconds for the Ray Casting algorithm, 45 milliseconds for Turf.js, and an average API response time of 115 milliseconds. The system proved capable of accurately detecting vehicles leaving their designated operational area, delivering real-time notifications, and properly maintaining data isolation between users.

Keywords: *dual geofence mode; GPS; N8N; vehicle monitoring; automatic notification*

P-ISSN : 2580-4316
E-ISSN : 2654-8054
https://doi.org/10.37817/ikraith-informatika.v11i1

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan sistem pengelolaan armada kendaraan yang efektif dan responsif menjadi tantangan tersendiri di era digital, khususnya pada sektor transportasi, logistik, dan layanan operasional. Tantangan utamanya adalah bagaimana memantau posisi kendaraan secara real-time sekaligus memastikan kendaraan tetap berada dalam wilayah operasional yang telah ditentukan. Ketidakterkendalian wilayah operasi kerap menimbulkan masalah seperti penyalahgunaan aset, keterlambatan distribusi, hingga peningkatan biaya operasional. Teknologi GPS tracker telah lama digunakan untuk pemantauan kendaraan, tetapi mayoritas sistem yang ada masih bersifat pasif karena hanya menampilkan lokasi tanpa disertai sistem notifikasi otomatis dan penentuan area yang terintegrasi, sehingga pengelola armada sering kali terlambat mengetahui ketika kendaraan keluar dari jalur operasional yang ditetapkan.

Geofencing hadir sebagai solusi atas persoalan tersebut, yaitu teknologi yang menciptakan batas wilayah virtual berbasis koordinat GPS sehingga sistem dapat secara otomatis mengidentifikasi kendaraan yang keluar dari batas wilayah dan memberikan peringatan segera. Selain itu, kebutuhan akan notifikasi otomatis yang responsif turut mendorong pemanfaatan platform otomasi alur kerja seperti N8N sebagai penghubung antara sistem deteksi geofence dengan kanal notifikasi kepada pengguna.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan membangun aplikasi berbasis web untuk memantau dan membatasi wilayah operasional kendaraan menggunakan GPS dan dual geofence mode (poligon manual serta province-based berbasis data 38 provinsi Indonesia dalam format GeoJSON), yang dilengkapi mekanisme peringatan bertingkat ketika kendaraan keluar dari batas area dengan toleransi waktu 30 menit, serta notifikasi otomatis multi-kanal menggunakan N8N.

2. LANDASAN TEORI

Global Positioning System (GPS) adalah sistem navigasi berbasis satelit yang menyediakan data koordinat lintang dan bujur suatu objek secara real-time, yang menjadi dasar bagi berbagai aplikasi pemantauan lokasi kendaraan. Geofencing merupakan teknik yang memanfaatkan data koordinat GPS untuk membentuk batas wilayah virtual, sehingga sistem dapat secara otomatis mendeteksi ketika suatu objek memasuki atau keluar dari batas wilayah tersebut. Validasi posisi terhadap batas wilayah pada penelitian ini dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu algoritma Ray Casting (point-in-polygon) untuk geofence berbentuk poligon manual, dan pustaka Turf.js untuk geofence berbasis data GeoJSON batas administratif provinsi.

N8N adalah platform otomasi alur kerja (workflow automation) berbasis node yang memungkinkan integrasi antar-layanan melalui trigger seperti webhook tanpa memerlukan banyak baris kode. Implementasi N8N pada sistem pemantauan Internet of Things dilaporkan mampu mencapai response time rata-rata 150-300 milidetik dengan ketersediaan sistem di atas 99% (Legito et al., 2025), sehingga platform ini dinilai sesuai untuk menangani distribusi notifikasi multi-kanal secara otomatis berdasarkan kejadian (event-driven).

JSON Web Token (JWT) adalah standar terbuka untuk pertukaran informasi secara ringkas dan aman antara dua pihak dalam bentuk objek JSON yang telah ditandatangani secara digital, umum digunakan sebagai mekanisme autentikasi tanpa status (stateless) pada aplikasi web (Isnaini et al., 2021). Pada penelitian ini, JWT digunakan untuk memverifikasi identitas pengguna pada setiap permintaan API sekaligus menjadi dasar penerapan isolasi data multi-user.

https://doi.org/10.37817/ikraith-informatika.v11i1
P-ISSN : 2580-4316
E-ISSN : 2654-8054

Unified Modeling Language merupakan salah satu metode pemodelan visual yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan sebuah *software* yang berorientasikan pada objek. UML adalah sebuah bahasa pemodelan perangkat lunak yang telah distandarisasi sebagai media penulisan cetak biru (blueprints) perangkat lunak (pressman) (Ramdany et al., 2024).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan melalui empat tahapan utama, yaitu analisis kebutuhan sistem, perancangan sistem menggunakan Unified Modeling Language (UML) (Wayahdi & Ruziq, 2023), implementasi sistem, dan pengujian sistem dengan metode Black Box Testing. Tahap analisis dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional sistem pemantauan kendaraan, sedangkan tahap perancangan menghasilkan use case diagram, activity diagram, sequence diagram, flowchart sistem, serta rancangan basis data, RESTful API, dan workflow N8N automation.

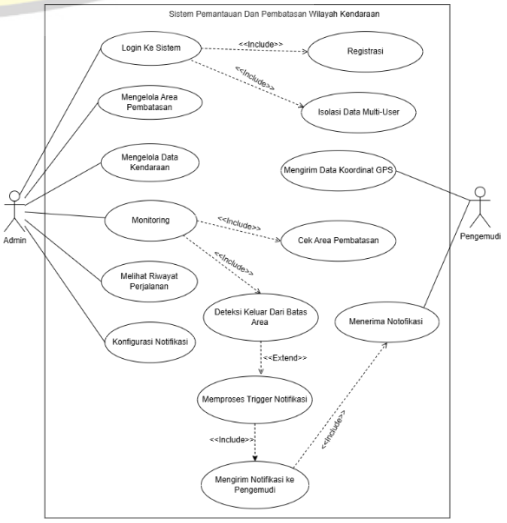
3.1 Arsitektur Sistem

Sistem dibangun menggunakan arsitektur three-tier yang memisahkan lapisan presentasi, lapisan bisnis, dan lapisan data agar diperoleh fleksibilitas, kemudahan pemeliharaan, dan skalabilitas yang baik. Ringkasan komponen arsitektur ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen Arsitektur Sistem

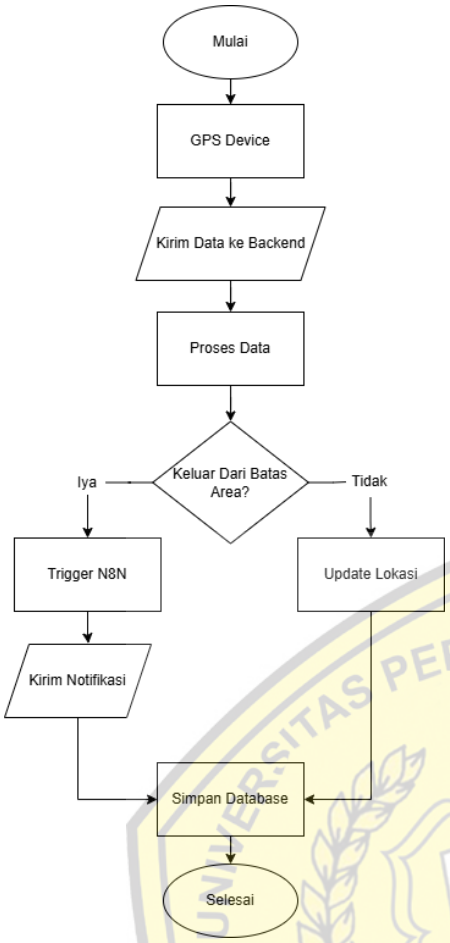
Layer	Teknologi	Fungsi
Presentation Layer	Vue.js 3 + Leaflet.js	Menampilkan antarmuka pengguna, peta interaktif, dan dashboard pemantauan kendaraan
Business Logic Layer	Express.js (Node.js)	Memproses permintaan API, logika geofencing, autentikasi JWT, dan komunikasi dengan N8N
Data Layer	MongoDB	Menyimpan data kendaraan, pengguna, geofence, dan riwayat perjalanan dalam format dokumen
Automation Layer	N8N Workflow	Mengelola alur notifikasi otomatis ketika kendaraan terdeteksi keluar dari batas area geofence
GPS Data Source	Perangkat GPS	Mengirimkan data koordinat kendaraan secara berkala ke backend melalui HTTP POST API

Alur kerja sistem dimulai ketika perangkat GPS mengirimkan data koordinat secara periodik ke endpoint API pada backend Express.js. Backend memvalidasi posisi tersebut terhadap geofence yang tersimpan di MongoDB (Yulius & Susetyo, 2023). Apabila kendaraan terdeteksi keluar dari batas area, backend mengirimkan trigger ke N8N Automation Workflow yang selanjutnya memproses dan mengirimkan notifikasi kepada pengguna. Posisi terbaru dan riwayat perjalanan kendaraan dapat dipantau secara real-time melalui antarmuka peta interaktif berbasis Leaflet.js (Holdi et al., 2021) yang dibangun di atas kerangka kerja Vue.js (VueJs, 2023). Interaksi aktor dengan sistem digambarkan pada use case diagram (Gambar 1), sedangkan alur proses deteksi hingga notifikasi digambarkan pada flowchart sistem (Gambar 2).



Gambar 1. Use Case Diagram Sistem

P-ISSN : 2580-4316
E-ISSN : 2654-8054
https://doi.org/10.37817/ikraith-informatika.v11i1



Gambar 2. Flowchart Sistem Pemantauan dan Pembatasan Wilayah Kendaraan

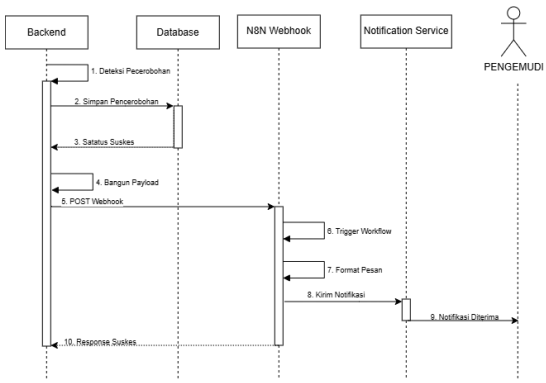
3.2 Perancangan Algoritma Geofencing

Sistem menerapkan dual geofence mode yang divalidasi menggunakan dua pendekatan algoritma berbeda. Mode poligon manual menggunakan algoritma Ray Casting (point-in-polygon), yaitu metode yang menentukan posisi suatu titik koordinat terhadap area poligon dengan menghitung jumlah perpotongan garis imajiner dari titik tersebut terhadap sisi poligon. Jumlah perpotongan ganjil menandakan titik berada di dalam poligon, sedangkan jumlah genap menandakan titik berada di luar poligon. Data poligon disimpan dalam format GeoJSON pada MongoDB dan dihubungkan dengan identitas kendaraan, sehingga satu kendaraan dapat memiliki lebih dari satu geofence aktif.

Mode kedua, yaitu mode berbasis provinsi, memanfaatkan data batas administratif 38 provinsi Indonesia dalam format GeoJSON dan divalidasi menggunakan pustaka Turf.js sehingga pengguna cukup memilih nama provinsi tanpa perlu menggambar poligon secara manual. Ketika koordinat kendaraan terdeteksi berada di luar area geofence aktif, sistem mengubah status kendaraan menjadi warning, mencatat riwayat kejadian, dan mengirimkan webhook ke N8N untuk memicu pengiriman notifikasi.

3.3 Mekanisme Kepatuhan Bertingkat dan Notifikasi

Status kepatuhan kendaraan dikelola melalui tiga tingkat, yaitu normal, warning, dan penalty. Ketika kendaraan keluar dari batas area, status berubah menjadi warning dan notifikasi pertama dikirimkan. Selama masa toleransi 30 menit, sistem mengirimkan notifikasi pengingat setiap 5 menit apabila kendaraan masih berada di luar batas area; status baru dinaikkan menjadi penalty apabila kendaraan belum kembali ke area operasional hingga batas waktu toleransi berakhir. Mekanisme toleransi waktu ini dirancang untuk mencegah false alarm akibat fluktuasi sinyal GPS sekaligus menciptakan akuntabilitas yang terukur. Sebagai pelengkap, mekanisme cooldown notifikasi selama 5 menit diterapkan agar sistem tidak mengirimkan notifikasi berulang untuk kejadian keluar-area yang terjadi dalam interval waktu yang berdekatan, tanpa menghentikan pencatatan log lokasi. Notifikasi dikirimkan secara otomatis melalui workflow N8N ke kanal email dan WhatsApp.



Gambar 3. Sequence Diagram Notifikasi Otomatis N8N

https://doi.org/10.37817/ikraith-informatika.v11i1
P-ISSN : 2580-4316
E-ISSN : 2654-8054

Sequence diagram pada Gambar 3 menunjukkan interaksi antar-komponen ketika kendaraan terdeteksi keluar dari batas area: backend mengubah status kendaraan menjadi warning, menyimpan data kejadian ke MongoDB, kemudian mengirim trigger ke N8N yang meneruskan notifikasi ke kanal email dan WhatsApp. Selama masa toleransi 30 menit, urutan interaksi ini berulang setiap 5 menit hingga kendaraan kembali ke area operasional atau status dinaikkan menjadi penalty.

3.4 Keamanan dan Isolasi Data

Sistem menerapkan autentikasi JSON Web Token (JWT) yang menyimpan payload berupa userId, waktu penerbitan, dan waktu kedaluwarsa token (Isnaini et al., 2021). Setiap permintaan API diverifikasi melalui middleware autentikasi sebelum diteruskan ke controller terkait. Untuk mendukung isolasi data multi-user, seluruh data kendaraan, geofence, riwayat perjalanan, dan log notifikasi difilter berdasarkan userId pengguna yang sedang login, sehingga data satu pengguna tidak dapat diakses oleh pengguna lain. Keamanan tambahan diterapkan melalui hashing kata sandi dengan bcrypt, konfigurasi CORS, rate limiting, serta validasi identitas perangkat GPS pada endpoint penerimaan data lokasi.

3.5 Desain Pengujian Sistem

Pengujian sistem dirancang menggunakan metode Black Box Testing dengan pendekatan fungsional, yaitu menguji fungsi sistem dari sudut pandang pengguna tanpa memperhatikan detail implementasi internal. Pengiriman data lokasi kendaraan disimulasikan menggunakan aplikasi Postman yang mengirimkan permintaan HTTP POST berisi deviceId, latitude, dan longitude ke endpoint penerimaan data GPS. Skenario pengujian disusun berdasarkan use case yang telah diidentifikasi, meliputi kondisi normal (valid input) dan kondisi batas (edge case), mencakup autentikasi, isolasi data multi-user, deteksi dan eskalasi status geofence, mekanisme cooldown notifikasi, serta validasi keabsahan perangkat GPS.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

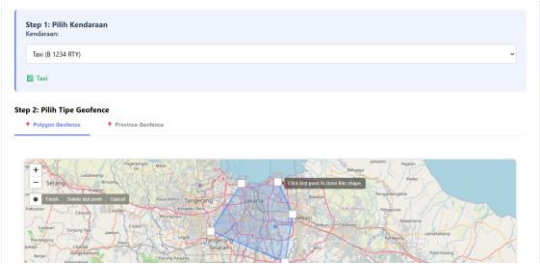
Sistem diimplementasikan menggunakan Vue.js 3 pada sisi frontend, Node.js dengan framework Express.js pada sisi backend, dan MongoDB sebagai basis data. Otomasi notifikasi diimplementasikan menggunakan N8N Cloud yang menerima trigger webhook dari backend setiap kali status kendaraan berubah, kemudian mendistribusikan notifikasi ke kanal email melalui Gmail dan ke kanal WhatsApp melalui penyedia layanan pesan pihak ketiga. Seluruh proses distribusi notifikasi didelegasikan sepenuhnya ke satu titik webhook N8N sehingga backend aplikasi tidak perlu menangani logika pengiriman pesan multi-kanal secara langsung, sejalan dengan prinsip pemisahan tanggung jawab pada arsitektur layanan web (Widyoutomo et al., 2021).



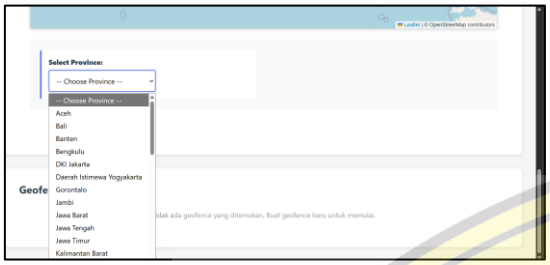
Gambar 4. Antarmuka Dashboard Pemantauan Kendaraan

Dashboard pemantauan menampilkan posisi kendaraan secara real-time pada peta interaktif beserta status kepatuhan (normal, warning, penalty) masing-masing kendaraan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.

P-ISSN : 2580-4316
E-ISSN : 2654-8054
https://doi.org/10.37817/ikraith-informatika.v11i1

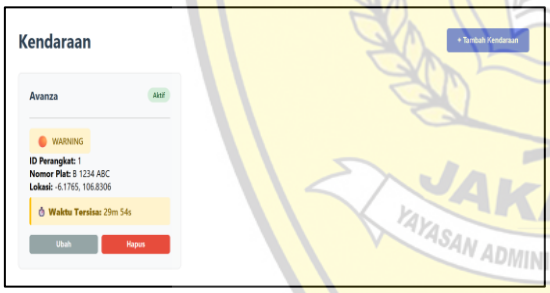


Gambar 5. Antarmuka Konfigurasi Geofence (Poligon)



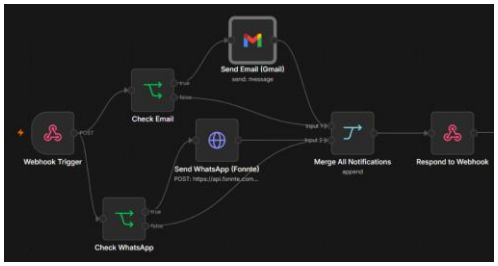
Gambar 6. Antarmuka Konfigurasi Geofence (Provinsi)

Pengguna dapat mengonfigurasi geofence melalui dua mode, yaitu menggambar poligon secara manual pada peta atau memilih provinsi secara langsung, seperti terlihat pada Gambar 5.



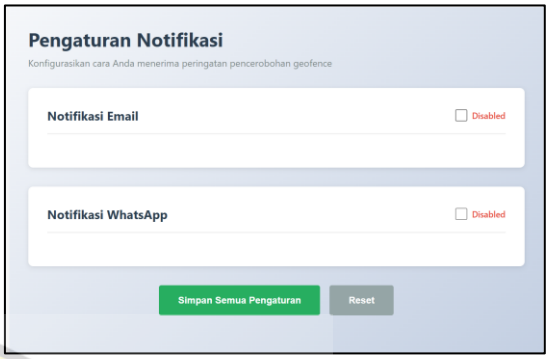
Gambar 7. Deteksi Kendaraan Keluar dari Batas Geofence

Ketika kendaraan terdeteksi keluar dari batas area geofence, sistem menandai posisi kendaraan pada peta dengan indikator status warning atau penalty secara real-time, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.



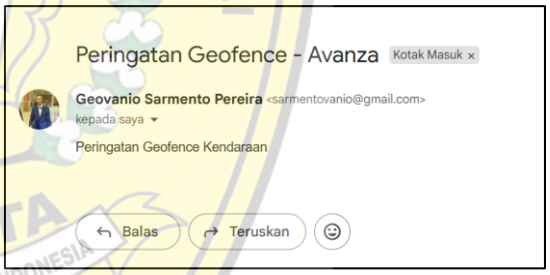
Gambar 8. Workflow N8N untuk Notifikasi Multi-Kanal

Workflow N8N menerima webhook dari backend dan meneruskan notifikasi ke node pengiriman email dan WhatsApp secara paralel, sebagaimana digambarkan pada Gambar 8.



Gambar 9. Antarmuka Pengaturan Notifikasi

Pengguna dapat mengaktifkan atau menonaktifkan kanal notifikasi secara terpisah melalui toggle email dan WhatsApp pada halaman pengaturan, sehingga distribusi notifikasi dapat disesuaikan dengan preferensi masing-masing pengguna, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



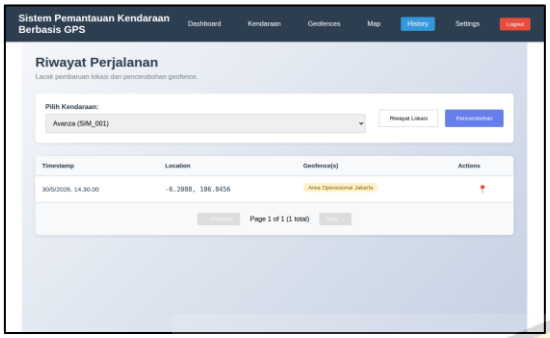
Gambar 10. Contoh Notifikasi yang Diterima Pengguna (Email)



Gambar 11. Contoh Notifikasi yang Diterima Pengguna (WhatsAPP)

https://doi.org/10.37817/ikraith-informatika.v11i1
P-ISSN : 2580-4316
E-ISSN : 2654-8054

Notifikasi yang diterima pengguna memuat informasi identitas kendaraan, waktu kejadian, serta status kepatuhan terkini, seperti dicontohkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 12. Antarmuka Riwayat Perjalanan Kendaraan

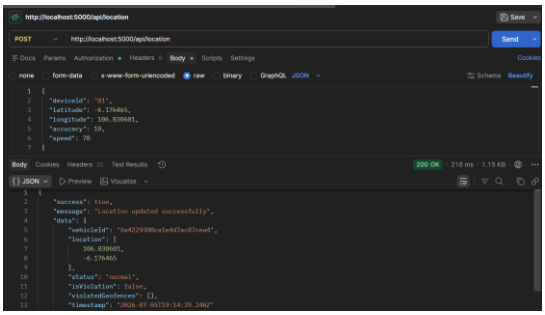
Halaman riwayat perjalanan menampilkan log posisi kendaraan secara kronologis beserta catatan kejadian keluar-area, sehingga pengelola dapat menelusuri histori pergerakan setiap kendaraan, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.

4.2 Hasil Pengujian Black Box

Pengujian Black Box Testing dilakukan terhadap dua belas skenario fungsional utama sistem, sebagaimana dirangkum pada Tabel 2. Seluruh skenario pengujian menunjukkan hasil yang sesuai dengan hasil yang diharapkan.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Pengujian Black Box

No	Kasus Uji	Hasil yang Diharapkan	Hasil
1	Registrasi & Login	Akun tersimpan, token JWT diterbitkan, pengguna masuk ke dashboard	Sesuai
2	Manajemen Kendaraan & Geofence	Data kendaraan dan geofence (poligon/provinsi) tersimpan dengan benar	Sesuai
3	Deteksi Keluar Area Geofence	Status kendaraan berubah normal → warning saat GPS di luar geofence	Sesuai
4	Eskalasi Status Penalty	Status berubah warning → penalty setelah kendaraan di luar area > 30 menit	Sesuai
5	Notifikasi Multi-Kanal	Notifikasi email/WhatsApp diterima pengguna saat kendaraan keluar area	Sesuai
6	Cooldown Notifikasi	Notifikasi tidak dikirim ulang untuk kejadian berulang dalam < 5 menit	Sesuai
7	Isolasi Data Multi-User	Pengguna A tidak dapat mengakses/memanipulasi data pengguna B (HTTP 404)	Sesuai
8	Riwayat Perjalanan	Log lokasi dan kejadian keluar-area tampil kronologis milik kendaraan terkait	Sesuai
9	Validasi Perangkat GPS	Data dari deviceId tidak terdaftar ditolak sistem (HTTP 401)	Sesuai
10	Reset Status	Status kendaraan kembali menjadi normal saat kendaraan kembali ke geofence	Sesuai



Gambar 13. Contoh Bukti Pelaksanaan Pengujian Black Box

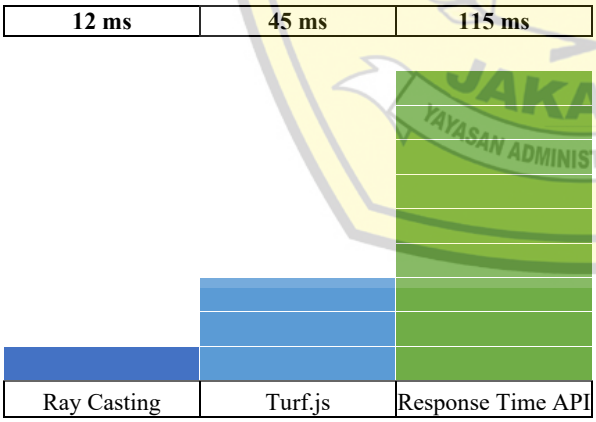
Hasil pengujian Black Box yang meliputi uji input, proses, dan output menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama sistem, termasuk

P-ISSN : 2580-4316
E-ISSN : 2654-8054
https://doi.org/10.37817/ikraith-informatika.v11i1

deteksi geofence, eskalasi status, notifikasi multi-kanal, dan isolasi data multi-user, telah terpenuhi sesuai dengan rancangan pada tahap analisis dan perancangan.

4.3 Analisis Kinerja Sistem

Evaluasi kinerja menunjukkan bahwa algoritma Ray Casting untuk mode poligon manual memiliki latensi rata-rata 12 milidetik karena komputasi dilakukan secara in-memory, sedangkan validasi mode provinsi menggunakan Turf.js dengan mekanisme caching data GeoJSON memiliki latensi rata-rata 45 milidetik, jauh di bawah ambang batas target 500 milidetik. Response time API untuk penerimaan data GPS tercatat rata-rata 115 milidetik, yang menunjukkan sistem mampu menerima data lokasi dengan frekuensi tinggi tanpa mengalami penurunan performa. Ketahanan sistem terhadap kegagalan komunikasi dengan N8N ditangani melalui mekanisme timeout pada permintaan HTTP selama 5.000 milidetik, sehingga kegagalan pengiriman notifikasi tidak memblokir respons API kepada perangkat GPS.



Gambar 12. Grafik Latensi Rata-Rata Komponen Sistem

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12, latensi algoritma Ray Casting jauh lebih rendah dibandingkan Turf.js karena komputasi poligon manual dilakukan secara in-memory tanpa akses data GeoJSON berskala besar, sedangkan response time API secara keseluruhan tetap berada pada rentang yang responsif untuk kebutuhan pemantauan real-time.

4.4 Pembahasan

Hasil pengujian membuktikan bahwa penelitian ini berhasil menjawab rumusan masalah yang diajukan. Implementasi dual geofence mode dengan algoritma Ray Casting dan Turf.js terbukti mampu memvalidasi posisi kendaraan secara akurat dengan latensi yang rendah, sedangkan mekanisme kepatuhan bertingkat dengan toleransi waktu 30 menit dan cooldown notifikasi 5 menit terbukti efektif mencegah false alarm tanpa kehilangan riwayat data lokasi. Dibandingkan dengan sistem pemantauan kendaraan berbasis GPS yang umumnya masih bersifat pasif, sistem yang dibangun pada penelitian ini menutup kesenjangan tersebut melalui pembatasan wilayah operasional otomatis serta integrasi dengan platform workflow automation untuk notifikasi multi-kanal. Integrasi N8N memungkinkan proses distribusi notifikasi email dan WhatsApp dilakukan tanpa menambah kompleksitas logika pada sisi backend aplikasi, sekaligus mempermudah pengembangan kanal notifikasi baru di masa mendatang tanpa mengubah kode sumber utama.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membangun aplikasi berbasis web untuk memantau dan membatasi wilayah operasional kendaraan menggunakan arsitektur three-tier dengan Vue.js 3, Node.js/Express.js, dan MongoDB, dengan kemampuan pelacakan lokasi kendaraan secara real-time pada peta interaktif berbasis Leaflet.js. Dual geofence mode berhasil diimplementasikan dan berfungsi sesuai perancangan, yaitu mode poligon manual menggunakan Ray Casting Algorithm dan mode berbasis provinsi menggunakan pustaka Turf.js dengan data 38 provinsi Indonesia dalam format GeoJSON, sehingga sistem mampu mengawasi wilayah operasional baik pada skala lokal maupun

skala administratif yang lebih luas. Mekanisme peringatan bertingkat ketika kendaraan keluar dari batas area (normal, warning, penalty) dengan toleransi waktu 30 menit, beserta notifikasi otomatis multi-kanal melalui integrasi N8N, terbukti berfungsi dengan baik berdasarkan hasil Black Box Testing, dengan latensi algoritma dan response time API yang berada jauh di bawah ambang batas target yang ditetapkan.

Pengembangan lebih lanjut dapat diarahkan pada penambahan fitur analitik dan pelaporan riwayat kejadian kendaraan keluar batas area beserta ekspor laporan, pengembangan aplikasi mobile agar notifikasi dapat diterima langsung dari perangkat genggam, serta peningkatan skalabilitas sistem melalui arsitektur message queue untuk mendukung penerapan pada skala armada yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

Holdi, A., Irwansyah, M. A., & Novriando, H. (2021). Aplikasi WebGis Fasilitas Umum Menggunakan Library Leaflet dan OpenStreetMap. Jurnal Sistem Dan Teknologi Informasi (Justin), 9(3), 334. https://doi.org/10.26418/justin.v9i3.44442

Isnaini, Siregar, R. A., & Hidayat, N. (2021). Implementasi Algoritme BLAKE2B Pada JSON Web Token Untuk Mekanisme Autentikasi Query Language. Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer, 5(1), 88–96. http://j-ptiik.ub.ac.id

Legito, L., Fitriyani, F., & Firmansyah, F. (2025). Implementation of N8N Platform for IoT Sensor Monitoring: Real-time Analysis in Smart Farming. International Journal Software Engineering and Computer Science (IJSECS), 5(3), 1199–1210. https://doi.org/10.35870/ijsecs.v5i3.5064

VueJs, I. (2023). Perkenalan Vue.JS. Vuejs.Id. https://docs.vuejs.id/v2/guide/

Wayahdi, M. R., & Ruziq, F. (2023). Pemodelan Sistem Penerimaan Anggota Baru dengan Unified Modeling Language (UML) (Studi Kasus: Programmer Association of Battuta). Jurnal Minfo Polgan, 12(1), 1514–1521. https://doi.org/10.33395/jmp.v12i1.12870

Widyoutomo, F., Ajie, H., & Elektro, U. N. (2021). Pengembangan Web Service. Jurnal Pinter, 5(1), 8.

Yulius, & Susetyo, Y. A. (2023). Analisis dan Penerapan Database Mongodb pada Aplikasi Manajemen Dokumen di PT. XYZ. Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi), 7(4), 570–578. https://doi.org/10.35870/jtik.v7i4.1047