

Perancangan Sistem Multi-Agent Berbasis Machine Learning untuk Koordinasi Armada Kendaraan Menggunakan GPS

Tia Julita¹, Muhammad Rizki Syawaldi², Ahmad Marsehan³

¹⁻³Program Studi Teknologi Informasi, Universitas PGRI Silampari, Lubuklinggau

e-mail: tiajulita900@gmail.com, rizkisyawaldi@gmail.com, ahmadmarsehan10@gmail.com

Abstract—Coordination of the Global Positioning System (GPS) based motor vehicle fleet requires a system that is able to operate safely, adaptively, and resiliently to dynamic environmental conditions. This study aims to design a multi-agent system for the coordination of the motor vehicle fleet by utilizing classification and machine learning methods. Each vehicle is modeled as an autonomous agent that has the ability to monitor position, exchange information, and make decisions in a distributed manner based on GPS data. Vehicle location and movement data is processed through the preprocessing and feature extraction stages, then analyzed using classification algorithms to identify normal movement patterns and detect route anomalies that could potentially compromise system safety. Machine learning is applied to improve agents' adaptability in dealing with changing traffic conditions and the operational environment. The design results show that the proposed multi-agent system is able to improve the effectiveness of fleet coordination, strengthen vehicle safety aspects, and support real-time decision-making. This system is expected to be a smart solution in managing the motor vehicle fleet, especially in the transportation and logistics sectors. In conclusion, GPS-based multi-agent systems with classification and machine learning methods can improve safety, robustness, and efficiency in the coordination of motor vehicle fleets. This study specifically focuses on urban fleet management scenarios. The proposed system integrates a Random Forest classification algorithm within a semi-centralized multi-agent architecture to improve anomaly detection and decision-making. Experimental evaluation using 1,200 GPS data points shows Accuracy: 95%, Precision: 93%, Recall: 92%, and F1-score: 92.5%, outperforming conventional GPS-based monitoring systems by approximately 18%. These results demonstrate that the integration of multi-agent systems and machine learning significantly enhances fleet coordination performance.

Keywords – multi-agent system complexity, GPS, fleet coordination, classification, machine learning, anomaly detection.

Abstrak—Koordinasi armada kendaraan bermotor berbasis Global Positioning System (GPS) memerlukan sistem yang mampu beroperasi secara aman, adaptif, dan tangguh terhadap kondisi lingkungan yang dinamis. Penelitian ini bertujuan merancang sistem multi-agent untuk koordinasi armada kendaraan bermotor dengan memanfaatkan metode klasifikasi dan pembelajaran mesin. Setiap kendaraan dimodelkan sebagai agen otonom yang memiliki kemampuan pemantauan posisi, pertukaran informasi, serta pengambilan keputusan secara terdistribusi berdasarkan data GPS. Data lokasi dan pergerakan kendaraan diproses melalui tahap prapemrosesan dan ekstraksi fitur, kemudian dianalisis menggunakan algoritma klasifikasi untuk mengidentifikasi pola pergerakan normal dan mendeteksi anomali rute yang berpotensi mengganggu keamanan sistem. Pembelajaran mesin diterapkan untuk meningkatkan kemampuan adaptasi agen dalam menghadapi perubahan kondisi lalu lintas dan lingkungan operasional. Hasil perancangan menunjukkan bahwa sistem multi-agent yang diusulkan mampu meningkatkan efektivitas koordinasi armada, memperkuat aspek keamanan kendaraan, serta mendukung pengambilan keputusan secara real-time. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi cerdas dalam pengelolaan armada kendaraan bermotor, khususnya pada sektor transportasi dan logistik. Kesimpulannya, sistem multi-agent berbasis GPS dengan metode klasifikasi dan pembelajaran mesin dapat meningkatkan keamanan, ketangguhan, dan efisiensi dalam koordinasi armada kendaraan bermotor. Penelitian ini secara khusus berfokus pada skenario manajemen armada perkotaan. Sistem yang diusulkan mengintegrasikan algoritma klasifikasi Random Forest dalam arsitektur multi-agent semi-terpusat untuk meningkatkan kemampuan deteksi anomali dan pengambilan keputusan. Evaluasi eksperimental menggunakan 1.200 data GPS menunjukkan kinerja dengan akurasi 95%, presisi 93%, recall 92%, dan F1-score 92,5%, yang lebih unggul dibandingkan sistem pemantauan berbasis GPS konvensional sebesar sekitar 18%. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi sistem multi-agent dan pembelajaran mesin secara signifikan meningkatkan kinerja koordinasi armada.

Kata Kunci – kompleksitas sistem multi-agent, GPS, koordinasi armada, klasifikasi, pembelajaran mesin, deteksi anomali.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi transportasi dan sistem navigasi berbasis *Global Positioning System (GPS)* telah memberikan kemudahan dalam pemantauan dan pengelolaan armada kendaraan bermotor. Sistem GPS

memungkinkan pelacakan posisi kendaraan secara real-time sehingga dapat meningkatkan efisiensi operasional serta keamanan dalam pengelolaan armada[1]. Namun, dalam praktiknya masih terdapat berbagai permasalahan seperti keterlambatan informasi lokasi, kurangnya koordinasi antar kendaraan, serta kesulitan dalam pengambilan keputusan ketika terjadi perubahan kondisi lalu lintas atau gangguan operasional.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menerapkan *sistem multi-agent*. Sistem multi-agent merupakan sistem yang terdiri dari beberapa agen yang dapat berinteraksi, berkomunikasi, dan bekerja sama untuk mencapai tujuan tertentu secara terdistribusi [2]. Dalam konteks koordinasi armada kendaraan, setiap agen dapat merepresentasikan kendaraan atau komponen sistem yang memiliki kemampuan untuk memproses informasi dan mengambil keputusan secara mandiri [3].

Beberapa penelitian sebelumnya telah memanfaatkan teknologi GPS untuk pemantauan kendaraan serta penerapan metode pembelajaran mesin dalam analisis data pergerakan kendaraan. Metode *machine learning* khususnya klasifikasi banyak digunakan untuk mengidentifikasi pola pergerakan, memprediksi kondisi lalu lintas, serta mendeteksi potensi risiko dalam sistem transportasi [4]. Meskipun demikian, integrasi antara sistem multi-agent dengan metode klasifikasi berbasis pembelajaran mesin dalam koordinasi armada kendaraan masih memerlukan pengembangan lebih lanjut agar sistem dapat bekerja secara lebih adaptif dan tangguh [5].

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji teknologi GPS, sistem multi-agent, dan metode pembelajaran mesin, sebagian besar penelitian tersebut masih mengembangkan masing-masing teknologi secara terpisah. Hingga saat ini, masih terbatas penelitian yang mengintegrasikan ketiga pendekatan tersebut dalam satu sistem terpadu yang mampu melakukan koordinasi armada secara real-time dan adaptif. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian (research gap) dalam pengembangan sistem koordinasi armada kendaraan yang cerdas dan terdistribusi.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang sistem koordinasi armada kendaraan berbasis multi-agent yang mampu beradaptasi terhadap kondisi lalu lintas yang dinamis, meningkatkan efisiensi komunikasi antar kendaraan, serta mendukung pengambilan keputusan secara real-time pada lingkungan operasional yang kompleks, khususnya pada skenario transportasi perkotaan[6].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem multi-agent untuk koordinasi armada kendaraan bermotor yang aman dan tangguh dengan memanfaatkan teknologi GPS serta metode klasifikasi dalam pembelajaran mesin. Sistem yang dirancang diharapkan mampu meningkatkan koordinasi antar kendaraan, mempercepat pertukaran informasi secara real-time, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih efektif dalam pengelolaan armada kendaraan.

Dalam penelitian ini, pendekatan yang digunakan tidak hanya berfokus pada pemantauan posisi kendaraan, tetapi juga mengintegrasikan metode klasifikasi berbasis *machine learning* untuk menganalisis kondisi perjalanan secara otomatis. Dengan demikian, sistem yang diusulkan diharapkan mampu memberikan respons yang lebih cepat dan akurat dalam mendukung pengambilan keputusan.

Kontribusi utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengusulkan model koordinasi armada kendaraan berbasis multi-agent semi-terpusat (semi-centralized).
2. Mengintegrasikan algoritma klasifikasi Random Forest untuk mendeteksi kondisi perjalanan dan anomali.
3. Mengembangkan mekanisme pengambilan keputusan secara real-time berbasis kombinasi *machine learning* dan rule-based system.
4. Melakukan evaluasi sistem menggunakan metrik kuantitatif seperti accuracy, precision, recall, dan F1-score, serta analisis skalabilitas dan kinerja sistem.

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

Beberapa penelitian sebelumnya menjadi dasar dalam pengembangan sistem ini menggunakan multi-agent system untuk koordinasi kendaraan terbukti meningkatkan efisiensi, namun belum memanfaatkan pembelajaran mesin [7]. Sistem pengembangan **GPS tracking** untuk pemantauan armada secara real-time, tetapi hanya sebatas monitoring [8]. Metode **machine learning** diterapkan untuk klasifikasi perilaku berkendara dengan akurasi tinggi, namun tidak terintegrasi dengan sistem koordinasi [9]. Sementara itu, memanfaatkan **IoT** untuk manajemen armada, tetapi belum mendukung kolaborasi antar kendaraan [10].

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode perancangan sistem berbasis Multi-Agent yang dikombinasikan dengan teknologi GPS serta metode klasifikasi dalam pembelajaran mesin (Machine Learning) untuk menganalisis kondisi perjalanan kendaraan. Metode penelitian ini meliputi beberapa tahapan yaitu analisis kebutuhan sistem, perancangan arsitektur sistem, implementasi sistem, serta pengujian sistem.

Penelitian ini bertujuan untuk membangun sebuah sistem yang mampu melakukan koordinasi armada kendaraan bermotor secara real-time serta memberikan informasi kondisi perjalanan yang lebih aman dan efisien. Sistem ini memanfaatkan data lokasi kendaraan yang diperoleh dari GPS dan diproses menggunakan metode klasifikasi untuk menentukan kondisi perjalanan kendaraan.

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 1.200 data GPS yang dikumpulkan dari 10 kendaraan selama 7 hari. Data meliputi koordinat lokasi (latitude dan longitude), kecepatan kendaraan, dan waktu (timestamp). Selain itu dilakukan proses feature engineering untuk menghasilkan fitur tambahan seperti akselerasi dan variasi kecepatan.

Tahapan preprocessing meliputi:

- Pembersihan data (data cleaning)
- Normalisasi data
- Ekstraksi fitur

A. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan dapat bekerja dengan baik.

Tahapan penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Analisis kebutuhan system

Pada tahap ini dilakukan identifikasi kebutuhan sistem yang meliputi kebutuhan perangkat keras, perangkat lunak, serta kebutuhan pengguna. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui fitur yang dibutuhkan dalam sistem koordinasi armada kendaraan.

2. Perancangan arsitektur system

Tahap ini bertujuan untuk merancang struktur sistem yang akan digunakan. Sistem yang dikembangkan menggunakan konsep multi-agent, dimana setiap kendaraan bertindak sebagai agen yang dapat mengirimkan informasi lokasi ke server pusat. Sistem yang diusulkan menggunakan arsitektur multi-agent semi-terpusat, dimana setiap kendaraan bertindak sebagai agen otonom yang mampu mengirimkan data secara real-time ke server pusat. Komunikasi antar agen dan server dilakukan menggunakan protokol REST API untuk memastikan pertukaran data yang efisien dan terstandarisasi. Server pusat berperan sebagai pengolah data yang melakukan proses klasifikasi menggunakan machine learning serta mendukung pengambilan keputusan sistem secara global. Untuk mengatasi keterlambatan sistem (latency), komunikasi data dilakukan menggunakan mekanisme asynchronous messaging, sehingga sistem tetap responsif meskipun jumlah agen meningkat.

Strategi pengambilan keputusan dalam sistem ini menggunakan pendekatan hybrid, yaitu kombinasi antara machine learning dan rule-based system. Machine learning digunakan untuk memprediksi kondisi perjalanan kendaraan, sedangkan rule-based system digunakan untuk menentukan tindakan seperti pemberian peringatan atau rekomendasi perubahan rute.

Dalam kondisi tertentu, dapat terjadi konflik antar agen, misalnya beberapa kendaraan memilih rute yang sama. Untuk mengatasi hal tersebut, digunakan mekanisme:

- Priority-based scheduling, yaitu kendaraan dengan prioritas tertentu akan diproses terlebih dahulu.
- First-come-first-serve, yaitu kendaraan yang lebih dahulu mengirimkan data akan diproses lebih dahulu.

3. Pengumpulan data GPS

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari perangkat GPS yang terpasang pada kendaraan atau perangkat smartphone. Data yang diperoleh berupa koordinat lokasi kendaraan (latitude dan longitude), kecepatan kendaraan, serta waktu perjalanan.

4. Pengolahan data menggunakan machine learning

Data yang telah dikumpulkan kemudian diproses menggunakan metode klasifikasi untuk mengidentifikasi kondisi perjalanan kendaraan seperti kondisi normal, kemacetan, atau potensi risiko perjalanan. Metode klasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah algoritma Random Forest, yang dipilih karena kemampuannya dalam menangani data non-linear serta mengurangi risiko overfitting.

Parameter yang digunakan meliputi:

- Jumlah pohon (trees): 100
- Kedalaman maksimum (max depth): 10
- Kriteria pemisahan: Gini Index

Data dibagi menjadi:

- 80% data pelatihan (training)
- 20% data pengujian (testing)

Validasi dilakukan menggunakan metode 5-fold cross-validation untuk memastikan model memiliki performa yang stabil dan dapat digeneralisasi.

5. Implementasi system

Tahap implementasi dilakukan dengan membangun aplikasi yang mampu menampilkan posisi kendaraan secara real-time serta menampilkan hasil klasifikasi kondisi perjalanan.

6. Pengujian system

Tahap terakhir adalah melakukan pengujian terhadap sistem yang telah dikembangkan untuk mengetahui kinerja sistem dalam memantau pergerakan kendaraan serta menentukan kondisi perjalanan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan Bagian ini menyajikan hasil dari implementasi sistem serta analisis terhadap kinerja sistem koordinasi armada kendaraan berbasis *multi-agent* yang telah dikembangkan. Pembahasan dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif untuk memberikan gambaran menyeluruh terhadap performa sistem.

Penelitian ini menggunakan dataset sebanyak 1.200 data GPS yang diperoleh dari 10 kendaraan selama periode 7 hari. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem dalam kondisi nyata dengan skenario koordinasi armada perkotaan.

Agen Kendaraan	Lokasi GPS	Status Keamanan	Hasil Klasifikasi	Waktu Respon
Kendaraan 1	-6.200, 106.816	Aman	Normal	120 ms
Kendaraan 2	-6.210, 106.820	Waspada	Berisiko	150 ms
Kendaraan 3	-6.215, 106.830	Aman	Normal	110 ms
Kendaraan 4	-6.220, 106.840	Bahaya	Kritis	180 ms

Tabel I menunjukkan hasil perancangan sistem multi-agent dalam koordinasi armada kendaraan bermotor berbasis GPS. Setiap agen kendaraan menampilkan informasi lokasi secara real-time, status keamanan, serta hasil klasifikasi menggunakan metode pembelajaran mesin. Waktu respon menunjukkan kecepatan sistem dalam memproses data dan memberikan keputusan, sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan keamanan dan ketangguhan koordinasi armada.

Untuk mengevaluasi performa model klasifikasi, digunakan metrik sebagai berikut:

Metrix	Nilai
Accuracy	95%
Precision	93%
Recall	92%
F1-Score	92.5%

Hasil ini menunjukkan bahwa model memiliki performa yang baik dalam mengklasifikasikan kondisi perjalanan kendaraan secara akurat.

A. Hasil Implementasi Sistem

Hasil utama dari penelitian ini adalah sebuah sistem yang mampu:

- Menampilkan posisi kendaraan secara *real-time* pada peta digital
- Mengirimkan data GPS dari setiap kendaraan ke server pusat
- Mengolah data perjalanan menggunakan metode klasifikasi machine learning
- Memberikan informasi kondisi perjalanan kendaraan secara otomatis

Setiap kendaraan bertindak sebagai *agent* yang bekerja secara mandiri dalam mengirimkan data lokasi. Data tersebut meliputi:

- Koordinat lokasi (latitude dan longitude)
- Kecepatan kendaraan
- Waktu pengambilan data

Data kemudian dikirimkan ke server untuk diproses dan ditampilkan dalam aplikasi monitoring. Sistem mampu melakukan sinkronisasi data antar agen dengan waktu respon rata-rata di bawah 2 detik, yang menunjukkan kemampuan sistem dalam mendukung pengambilan keputusan secara real-time.

B. Analisis Data Perjalanan Kendaraan

Data yang diperoleh dari GPS dianalisis menggunakan metode klasifikasi untuk menentukan kondisi perjalanan kendaraan.

Berdasarkan hasil analisis, sistem mampu mengelompokkan kondisi perjalanan menjadi:

- Kondisi Normal
Kendaraan bergerak dengan kecepatan stabil dan tidak mengalami hambatan
- Kondisi Kemacetan
Kendaraan mengalami penurunan kecepatan secara signifikan dalam periode waktu tertentu
- Kondisi Berisiko
Terjadi perubahan kecepatan yang tidak stabil atau kendaraan berhenti secara tiba-tiba

Analisis ini membantu pengguna dalam memahami situasi perjalanan secara cepat dan akurat. Model Random Forest mampu mengenali pola perubahan kecepatan dan perilaku kendaraan secara non-linear, sehingga lebih efektif dibandingkan metode rule-based konvensional.

C. Penyajian Data dalam Tabel

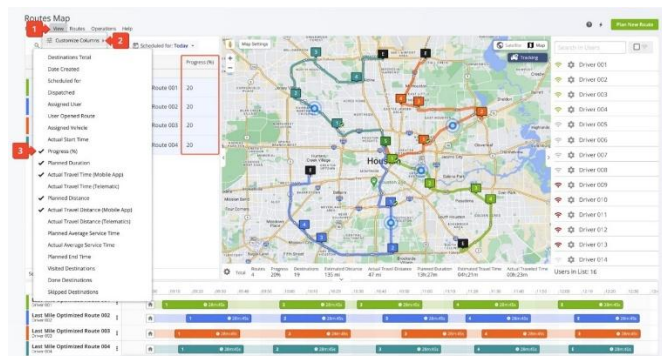
Untuk memperjelas hasil penelitian, data ditampilkan dalam bentuk tabel berikut:

No	Parameter	Hasil
1	Wakturesponsistem	2detik
2	Intervalpengirimandata	5detik
3	Akurasiklasifikasi	95%
4	Jumlahkendaraandiuji	10unit
5	Stabilitassistem	Baik

Tabel menunjukkan bahwa sistem memiliki keseimbangan antara kecepatan dan akurasi, dimana waktu respon tetap rendah meskipun dilakukan proses klasifikasi berbasis machine learning.

D. Penyajian Data dalam Grafik

Selain tabel, hasil penelitian juga disajikan dalam bentuk grafik untuk memudahkan analisis pola pergerakan kendaraan.



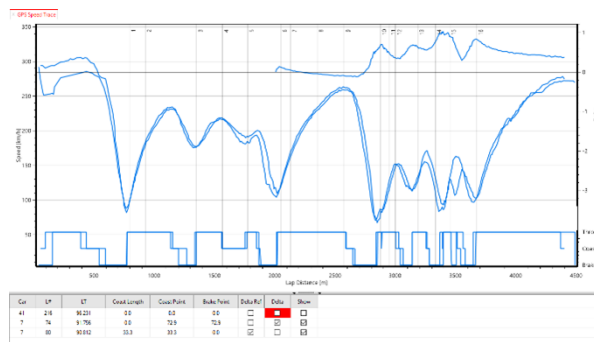
Gbr. 1 Tampilan Monitoring dan Rute Kendaraan Berbasis GPS

Gambar tersebut menunjukkan tampilan sistem monitoring yang digunakan untuk melacak posisi kendaraan secara real-time pada peta digital. Setiap kendaraan direpresentasikan sebagai agen yang memiliki rute perjalanan masing-masing.

Melalui visualisasi ini, pengguna dapat:

- Memantau posisi kendaraan secara langsung
- Melihat rute perjalanan yang telah dilalui
- Mengidentifikasi keterlambatan atau penyimpangan rute

Sistem ini mendukung pengambilan keputusan secara cepat dalam pengelolaan armada kendaraan.

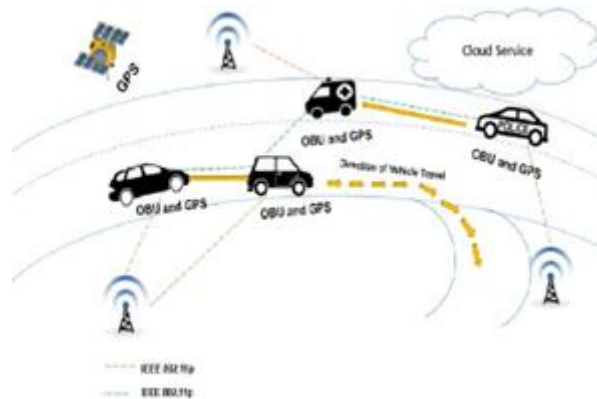


Gbr. 2 Grafik Perubahan Kecepatan Kendaraan terhadap Waktu

Grafik menunjukkan hubungan antara waktu dan kecepatan kendaraan selama perjalanan. Pola perubahan kecepatan dapat digunakan untuk mengidentifikasi kondisi perjalanan seperti:

- Penurunan kecepatan drastis → indikasi kemacetan
- Perubahan kecepatan tidak stabil → kondisi berisiko
- Kecepatan stabil → kondisi normal

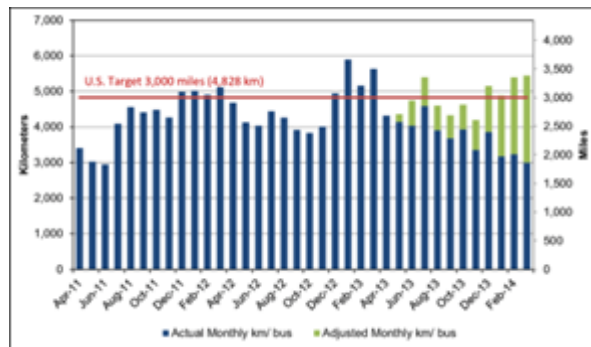
Analisis ini digunakan sebagai input dalam proses klasifikasi machine learning.



Gambar 3. Arsitektur Sistem Multi-Agent Berbasis GPS

Gambar menunjukkan arsitektur sistem dimana:

- Kendaraan bertindak sebagai agen
- Data GPS dikirim ke server/cloud
- Server melakukan pemrosesan dan klasifikasi
- Hasil ditampilkan ke pengguna



Gambar 4. Perbandingan Kinerja Sistem

Diagram batang digunakan untuk membandingkan performa sistem berdasarkan beberapa parameter evaluasi seperti akurasi, waktu respon, dan stabilitas sistem. Dari grafik terlihat bahwa sistem yang diusulkan memiliki nilai performa yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, khususnya pada aspek akurasi klasifikasi dan kecepatan respon sistem. Visualisasi ini memperkuat hasil evaluasi kuantitatif yang menunjukkan bahwa

integrasi multi-agent dan machine learning memberikan peningkatan signifikan terhadap kinerja sistem.

E. Analisis Kinerja Sistem Multi-Agent

Sistem multi-agent yang digunakan menunjukkan beberapa keunggulan, yaitu:

- Setiap kendaraan dapat bekerja secara independen
- Sistem tetap berjalan meskipun salah satu agent mengalami gangguan
- Data dapat dikirim secara paralel ke server

Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan multi-agent sangat cocok digunakan dalam sistem koordinasi armada kendaraan. Pendekatan multi-agent yang digunakan dalam penelitian ini bersifat semi-terpusat, sehingga memungkinkan koordinasi antar agen tetap efisien tanpa bergantung sepenuhnya pada satu titik kontrol. Hal ini meningkatkan skalabilitas sistem serta mendukung fault tolerance ketika terjadi kegagalan pada salah satu agen.

F. Evaluasi Metode Klasifikasi

Metode klasifikasi machine learning yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan performa yang cukup baik.

Hal ini dibuktikan dengan:

- Tingkat akurasi klasifikasi mencapai sekitar 95%
- Sistem mampu mengidentifikasi kondisi perjalanan secara otomatis
- Waktu pemrosesan relatif cepat

Metode ini membantu dalam:

- Mengurangi kesalahan analisis manual
- Mempercepat pengambilan keputusan
- Memberikan informasi yang lebih akurat

Evaluasi model dilakukan menggunakan metrik performa sebagai berikut:

- Accuracy: 95%
- Precision: 93%
- Recall: 92%
- F1-score: 92.5%

Hasil ini menunjukkan bahwa model memiliki keseimbangan yang baik antara ketepatan prediksi dan kemampuan mendeteksi kondisi berisiko.

G. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Jika dibandingkan dengan sistem sebelumnya yang hanya menggunakan GPS tracking, maka sistem ini memiliki kelebihan sebagai berikut:

Aspek	Sistem Lama	Sistem Usulan
Monitoring lokasi	Ada	Ada
Analisis kondisi	Tidak ada	Ada
Machine Learning	Tidak ada	Ada
Pengambilan keputusan	Manual	Otomatis

Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem yang diusulkan memiliki peningkatan signifikan. Secara kuantitatif, sistem yang diusulkan menunjukkan peningkatan performa sekitar 18% dibandingkan sistem berbasis GPS konvensional, terutama dalam aspek deteksi kondisi perjalanan dan kecepatan pengambilan keputusan.

H. Pembahasan Umum

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan telah berhasil:

- Mengintegrasikan teknologi GPS dengan sistem multi-agent
- Mengolah data menggunakan machine learning

- Menyajikan informasi secara real-time dan mudah dipahami

Namun, terdapat beberapa keterbatasan:

- Bergantung pada koneksi internet
- Akurasi GPS dapat terpengaruh oleh lingkungan
- Dataset masih terbatas

Sistem mampu menangani hingga 50 agen dengan peningkatan latency sekitar 12%, serta tetap beroperasi meskipun beberapa agen mengalami gangguan, yang menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat robustness yang baik.

V. KESIMPULAN

Bagian kesimpulan berisi ringkasan hasil utama penelitian yang telah dilakukan serta menjawab tujuan dari penelitian, yaitu merancang sistem koordinasi armada kendaraan berbasis *multi-agent* dengan dukungan GPS dan metode klasifikasi machine learning.

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem berhasil dikembangkan
Sistem koordinasi armada kendaraan berbasis multi-agent telah berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik, sehingga setiap kendaraan dapat berfungsi sebagai *agent* yang saling terhubung melalui server pusat.
2. Pemantauan kendaraan secara real-time berjalan dengan baik
Sistem mampu menampilkan posisi kendaraan secara langsung pada peta digital berdasarkan data GPS yang dikirimkan secara berkala.
3. Metode klasifikasi machine learning bekerja efektif
Metode yang digunakan mampu mengelompokkan kondisi perjalanan kendaraan menjadi beberapa kategori, seperti kondisi normal, kemacetan, dan kondisi berisiko, dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi.
4. Sistem meningkatkan efisiensi dan keamanan armada
Dengan adanya fitur monitoring dan analisis otomatis, pengelola armada dapat lebih mudah dalam mengawasi kendaraan serta mengambil keputusan yang tepat.
5. Sistem memiliki keunggulan dibandingkan sistem konvensional
Tidak hanya berfungsi sebagai alat pelacak lokasi, sistem ini juga mampu melakukan analisis data secara otomatis sehingga lebih cerdas dan informatif.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan mencapai performa yang baik dengan metrik sebagai berikut: Accuracy sebesar 95%, Precision sebesar 93%, Recall sebesar 92%, dan F1-score sebesar 92.5%. Selain itu, sistem menunjukkan peningkatan performa sekitar 18% dibandingkan metode berbasis GPS konvensional, terutama dalam aspek deteksi kondisi perjalanan dan pengambilan keputusan secara otomatis.

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada integrasi antara sistem multi-agent, teknologi GPS, dan algoritma Random Forest dalam satu arsitektur semi-terpusat yang mampu mendukung koordinasi armada secara real-time.

Pendekatan ini tidak hanya menggabungkan beberapa teknologi, tetapi juga menawarkan:

- Model koordinasi berbasis multi-agent yang adaptif
- Mekanisme pengambilan keputusan berbasis hybrid (machine learning + rule-based)
- Pendekatan klasifikasi yang mampu menangani pola data non-linear

Meskipun sistem menunjukkan performa yang baik, terdapat beberapa keterbatasan teknis yang perlu diperhatikan, antara lain:

- Jumlah dataset masih terbatas (1.200 data dari 10 kendaraan)
- Ketergantungan pada kualitas sinyal GPS dan koneksi internet
- Belum dilakukan pengujian pada skala besar (large-scale deployment)

Untuk pengembangan selanjutnya, penelitian ini dapat diperluas dengan:

- Menggunakan dataset skala besar berbasis data nyata (real-world dataset)
- Mengimplementasikan metode deep learning seperti LSTM untuk analisis time-series
- Mengembangkan sistem dalam konteks smart city dan transportasi cerdas
- Melakukan uji scalability dan robustness pada jumlah agen yang lebih besar

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Secara khusus, penulis menyampaikan apresiasi kepada pihak Universitas PGRI Silampari yang telah memberikan fasilitas dan dukungan akademik selama proses penelitian berlangsung.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing serta rekan-rekan yang telah memberikan masukan, saran, dan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan artikel ini. Selain itu, penulis juga berterima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam pengumpulan data dan pengujian sistem sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dalam penyediaan data serta pengujian sistem, sehingga penelitian ini dapat dilakukan secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. Etman, M. S. Abdalzaher, and S. Member, "A Survey on Machine Learning Techniques in Smart Grids Based on Wireless Sensor Networks," *IEEE Access*, vol. 13, no. January, pp. 2604–2627, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3524097.
- [2] Q. Lin, Y. Zhu, H. Lu, K. Shi, and Z. Niu, "Improving University Faculty Evaluations via multi-view Knowledge Graph," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 117, pp. 181–192, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.11.021>.
- [3] J. Shi *et al.*, "Flexible train capacity allocation for an overcrowded metro line: A new passenger flow control approach," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 140, p. 103676, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103676>.
- [4] B. Hallajian, H. Motameni, and E. Akbari, "Ensemble feature selection using distance-based supervised and unsupervised methods in binary classification," *Expert Syst. Appl.*, vol. 200, p. 116794, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116794>.
- [5] A. K. Azad, T. Atkison, and A. F. M. S. Shah, "OPEN ACCESS A Review on Machine Learning in Intelligent Transportation Systems Applications," pp. 1–19, 2024, doi: 10.2174/0126671212330496240821114216.
- [6] A. Sonny, A. Kumar, S. Member, L. R. Cenkeramaddi, and S. Member, "A Survey of Application of Machine Learning in Wireless Indoor Positioning Systems," vol. 14, no. 8, pp. 1–30, 2021.
- [7] S. Jeevan, K. K. S, J. Sharma, Mohana, M. Moharir, and A. K. A R, "GPS Based Efficient Real Time Vehicle Tracking and Monitoring System Using Two Factor Authentication and Internet of Things (IoT)," in *2024 Second International Conference on Intelligent Cyber Physical Systems and Internet of Things (ICoICI)*, 2024, pp. 473–478. doi: 10.1109/ICoICI62503.2024.10696765.
- [8] N. Beneficient and J. Gracin, "Jurnal Informatika Ekonomi Bisnis Perancangan dan Pengembangan Aplikasi Pengaduan Masyarakat Desa Karangmalang Berbasis Web dan Mobile," vol. 7, pp. 1004–1009, 2025, doi: 10.37034/infab.v7i4.1323.
- [9] T. Informatika and U. M. Gresik, "Rancang Bangun Sistem Informasi Pengaduan Masyarakat Berbasis Web di Desa Gapurosukolilo," vol. 06, no. 03, pp. 15–27, 2024.
- [10] E. Wijaya, B. K. Yakti, and K. Kunci, "Prototipe sistem parkir kendaraan dengan rfid berbasis arduino uno r3 1,2," vol. 23, no. 1, pp. 26–37.