

Dynamic Safety Monitoring and Active Safety Enhancement for a Lightweight Energy-Efficient Electric Vehicle [Pemantauan Keselamatan Dinamis dan Peningkatan Keselamatan Aktif pada Kendaraan Listrik Hemat Energi Berbobot Ringan]

Dymas Anom Dewa Brata¹⁾, Indah Sulistiyowati, ST, MT.²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: indah_sulistiyowati@umsida.ac.id

Abstract. *Energy efficient electric vehicles are generally designed with lightweight structures and minimal system architectures to optimize power efficiency; however, the integration of embedded active safety systems remains limited. This study proposes an embedded dynamic safety monitoring framework based on multi-sensor integration to enhance the active safety capability of a lightweight prototype electric vehicle. The system integrates an accelerometer-gyroscope module and a vibration sensor within a microcontroller-based architecture to perform three-axis acceleration data acquisition and real-time dynamic condition analysis using a threshold-based classification algorithm.*

Unlike conventional accident detection approaches that focus on post-event response, the proposed system is designed as an active safety enhancement mechanism through continuous monitoring of vehicle dynamic behavior. The implementation was carried out on the Jayandaru EV prototype developed by the IMEI Team. Experimental results indicate that the dual-verification configuration improves detection reliability and minimizes misclassification caused by transient vibration fluctuations. The developed embedded framework operates independently, with low system complexity, making it suitable for energy-efficient electric vehicle applications with limited system resources and network infrastructure.

Keywords - Dynamic Safety Monitoring; Active Safety Enhancements; Energy Saving Electric Vehicles; Embedded Systems Architecture; Multi-Sensor Integration.

Abstrak. *Kendaraan listrik hemat energi umumnya dirancang dengan struktur ringan dan arsitektur sistem yang minimal guna mengoptimalkan efisiensi daya, namun integrasi sistem keselamatan aktif berbasis embedded masih terbatas. Penelitian ini mengusulkan suatu embedded dynamic safety monitoring framework berbasis multi-sensor untuk meningkatkan kapabilitas keselamatan aktif pada kendaraan listrik prototipe berbobot ringan. Sistem mengintegrasikan modul akselerometer-giroskop dan sensor getaran dalam arsitektur mikrokontroler untuk melakukan akuisisi data percepatan tiga sumbu serta analisis kondisi dinamis kendaraan secara real-time menggunakan algoritma klasifikasi berbasis threshold.*

Berbeda dari pendekatan deteksi kecelakaan konvensional yang berfokus pada respons pasca-kejadian, sistem yang diusulkan dirancang sebagai mekanisme active safety enhancement melalui pemantauan kontinu terhadap perilaku dinamis kendaraan. Implementasi dilakukan pada prototipe Jayandaru EV milik IMEI Team. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi verifikasi ganda meningkatkan reliabilitas deteksi dan meminimalkan kesalahan klasifikasi akibat fluktuasi getaran sesaat. Kerangka embedded yang dikembangkan bersifat mandiri, berkompleksitas rendah, dan sesuai untuk aplikasi kendaraan listrik hemat energi dengan keterbatasan sumber daya sistem dan infrastruktur jaringan.

Kata Kunci – Pemantauan Keselamatan Dinamis; Peningkatan Keselamatan Aktif; Kendaraan Listrik Hemat Energi; Arsitektur Sistem Embedded; Integrasi Multi-Sensor.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan kendaraan listrik hemat energi dalam konteks riset akademik dan kompetisi internasional mendorong optimalisasi desain berbasis reduksi massa dan penyederhanaan arsitektur sistem guna memaksimalkan efisiensi energi [1]. Pendekatan lightweight design tersebut secara signifikan meningkatkan rasio efisiensi terhadap konsumsi daya, namun secara struktural juga meningkatkan sensitivitas kendaraan terhadap gangguan dinamis seperti getaran ekstrem, perubahan orientasi mendadak, dan impuls percepatan tinggi [2]. Pada kendaraan berbobot ringan,

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

respons dinamis terhadap gangguan eksternal cenderung lebih fluktuatif dibandingkan kendaraan konvensional dengan massa struktural besar.

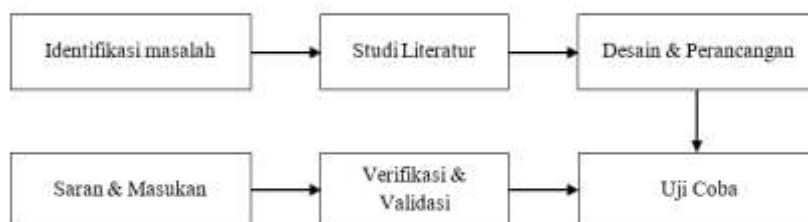
Sebagian besar penelitian pada kendaraan listrik prototipe berfokus pada optimalisasi performa energi, manajemen baterai, serta sistem telemetri untuk pemantauan parameter operasional. Sistem telemetri yang dikembangkan umumnya berorientasi pada transmisi data performa melalui platform berbasis Internet of Things (IoT) [3]. Meskipun pendekatan tersebut efektif untuk monitoring jarak jauh, integrasi analisis dinamika kendaraan sebagai bagian dari mekanisme keselamatan aktif masih belum menjadi fokus utama. Selain itu, sistem deteksi insiden yang tersedia pada literatur umumnya dirancang untuk kendaraan penumpang konvensional dan memanfaatkan arsitektur jaringan internet, sehingga kurang sesuai untuk kendaraan listrik kompetisi yang memiliki keterbatasan sumber daya komputasi, daya listrik, dan infrastruktur jaringan [4].

Dalam bidang pemantauan kondisi berbasis sensor inersial, percepatan tiga sumbu dan perubahan orientasi telah terbukti mampu merepresentasikan karakteristik dinamika suatu sistem mekanik [5]. Namun, penerapan pendekatan tersebut sebagai kerangka peningkatan keselamatan aktif pada kendaraan listrik hemat energi berbobot ringan belum banyak dikaji secara sistematis [6]. Penelitian yang ada cenderung bersifat reaktif, yaitu mendeteksi kejadian setelah insiden terjadi, bukan melakukan pemantauan dinamis berkelanjutan sebagai bagian dari strategi keselamatan aktif kendaraan.

Berdasarkan identifikasi tersebut, terdapat kesenjangan penelitian berupa belum tersedianya kerangka *dynamic safety monitoring* berbasis embedded yang dirancang khusus untuk karakteristik kendaraan listrik hemat energi berbobot ringan, dengan kompleksitas sistem rendah dan tanpa ketergantungan infrastruktur internet. Kebutuhan ini menjadi semakin relevan pada lingkungan kompetisi, di mana keandalan sistem dan kemandirian arsitektur menjadi faktor krusial. Penelitian ini mengusulkan suatu *embedded dynamic safety monitoring framework* yang mengintegrasikan sensor inersial dan sensor getaran dalam arsitektur mikrokontroler untuk melakukan analisis kondisi dinamis kendaraan secara real-time. Berbeda dari sistem deteksi kecelakaan konvensional yang berorientasi pada respons pasca-kejadian, pendekatan yang diusulkan memposisikan pemantauan dinamika kendaraan sebagai bagian integral dari mekanisme peningkatan keselamatan aktif [7].

II. METODE

Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan memvalidasi suatu sistem pemantauan keselamatan dinamis berbasis sistem tertanam sebagai mekanisme peningkatan keselamatan aktif pada kendaraan listrik hemat energi berbobot ringan. Metodologi penelitian diawali dengan studi literatur dan analisis kebutuhan sistem untuk mengidentifikasi karakteristik dinamika kendaraan serta keterbatasan sumber daya komputasi. Selanjutnya dilakukan perancangan arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak yang mengintegrasikan sensor akselerometer giroskop dan sensor getaran dalam satu sistem mikrokontroler untuk akuisisi serta pemrosesan data percepatan tiga sumbu secara real-time [8]. Algoritma klasifikasi kondisi dinamis berbasis analisis percepatan resultan dan verifikasi multi-sensor dikembangkan dengan kompleksitas rendah agar sesuai untuk implementasi pada sistem berdaya terbatas. Sistem kemudian diimplementasikan pada prototipe Jayandaru EV milik IMEI Team dan diuji melalui pengujian laboratorium serta pengujian lapangan guna mengevaluasi stabilitas pembacaan sensor, konsistensi klasifikasi, dan reliabilitas deteksi dalam berbagai skenario dinamika kendaraan [9].



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

A. Objek Penelitian dan Subjek Pengujian

Objek penelitian ini adalah prototipe kendaraan listrik hemat energi Jayandaru EV yang dikembangkan oleh IMEI Team Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (UMSIDA) dan digunakan dalam kompetisi kendaraan hemat energi tingkat nasional maupun internasional. Kendaraan ini dirancang dengan struktur ringan dan sistem yang dioptimalkan untuk efisiensi energi, sehingga memiliki karakteristik dinamika yang lebih sensitif terhadap perubahan percepatan dan getaran dibandingkan kendaraan konvensional. Hingga saat ini, Jayandaru EV belum dilengkapi dengan sistem pemantauan keselamatan dinamis berbasis sistem tertanam yang mampu melakukan analisis kondisi kendaraan secara real-time. Oleh karena itu, kendaraan ini dipilih sebagai subjek pengujian untuk mengimplementasikan dan

mengevaluasi sistem pemantauan keselamatan dinamis yang dikembangkan guna meningkatkan kapabilitas keselamatan aktif tanpa mengganggu efisiensi energi dan arsitektur ringan kendaraan..

B. Algoritma Sistem Pemantauan Dinamis

Sistem pemantauan keselamatan dinamis menggunakan sensor MPU6050 untuk mengukur percepatan tiga sumbu (a_x, a_y, a_z) dan sensor getaran YL-99 sebagai verifikasi adanya impuls mekanik. Nilai percepatan total kendaraan dihitung menggunakan persamaan:

$$A_r = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

di mana A_r adalah percepatan resultan dalam satuan g.

Dalam penelitian ini digunakan ambang batas (threshold) sebesar 2 g. Apabila nilai percepatan resultan memenuhi:

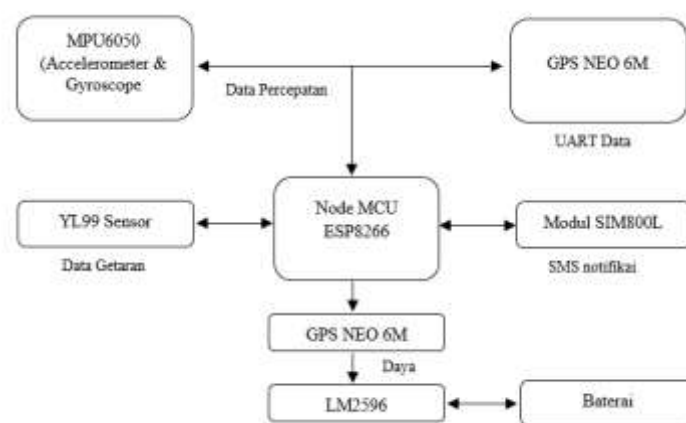
$$A_r \geq 2g$$

maka sistem mengklasifikasikan kondisi sebagai dinamis ekstrem. Namun, untuk meningkatkan akurasi dan mengurangi kesalahan deteksi, kondisi tersebut hanya dikonfirmasi apabila sensor getaran juga aktif.

Dengan demikian, sistem hanya menyatakan kondisi berisiko jika:

$$A_r \geq 2g \text{ dan } V = 1$$

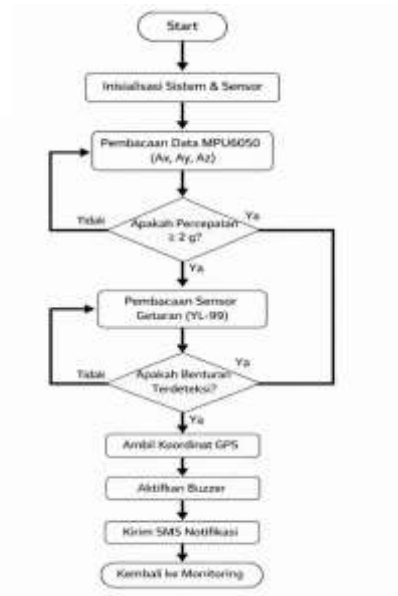
C. Blok Diagram Sistem



Gambar 2. Blok Diagram sistem

Blok diagram sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk menjalankan fungsi pemantauan keselamatan dinamis kendaraan secara real-time. Sistem diawali dengan sensor GY-521 (MPU6050) dan sensor getaran YL-99 yang berfungsi mengukur percepatan tiga sumbu serta mendeteksi impuls getaran signifikan pada kendaraan. Ketika kendaraan mengalami perubahan dinamika yang ekstrem, seperti lonjakan percepatan yang melebihi ambang batas yang telah ditetapkan dan disertai getaran kuat, data tersebut menjadi indikator kondisi dinamis berisiko. Modul GPS Neo-6M menyediakan informasi koordinat lokasi kendaraan dalam bentuk latitude dan longitude sebagai data pendukung pemantauan. Seluruh data sensor diproses oleh NodeMCU ESP8266 yang menjalankan algoritma klasifikasi berbasis threshold untuk menentukan apakah kondisi kendaraan termasuk normal atau dinamis ekstrem. Apabila terdeteksi kondisi dinamis ekstrem, sistem akan mengaktifkan buzzer sebagai peringatan lokal serta mengirimkan informasi kondisi dan koordinat lokasi melalui modul SIM800L dalam bentuk SMS ke nomor yang telah ditentukan. Dengan demikian, sistem mampu melakukan pemantauan dinamika kendaraan secara otomatis, memberikan peringatan langsung kepada pengemudi, serta menyampaikan informasi kondisi kendaraan kepada tim secara cepat tanpa bergantung pada koneksi internet.

D. Flowchart



Gambar 3. Flowchart Sistem

Flowchart sistem pemantauan keselamatan dinamis diawali dengan proses inialisasi NodeMCU ESP8266 serta konfigurasi awal seluruh modul, termasuk sensor MPU6050 (GY-521), sensor getaran YL-99, dan modul GPS Neo-6M. Setelah sistem aktif dan seluruh perangkat terhubung dengan baik, mikrokontroler secara kontinu membaca data percepatan tiga sumbu dari MPU6050 serta status getaran dari YL-99. Data percepatan kemudian dihitung menjadi percepatan resultan dan dibandingkan dengan nilai ambang batas 2 g yang telah ditetapkan. Apabila nilai percepatan resultan melebihi 2 g dan sensor getaran mendeteksi impuls signifikan, sistem mengklasifikasikan kondisi tersebut sebagai kondisi dinamis ekstrem. Selanjutnya, modul GPS Neo-6M mengambil data koordinat lokasi kendaraan yang diproses bersama hasil klasifikasi oleh ESP8266. Sistem kemudian mengaktifkan buzzer sebagai peringatan lokal dan mengirimkan informasi kondisi beserta koordinat lokasi melalui modul GSM SIM800L dalam bentuk SMS ke nomor yang telah ditentukan. Jika nilai percepatan tidak melebihi ambang batas atau tidak terkonfirmasi oleh sensor getaran, sistem kembali ke proses pemantauan secara kontinu. Dengan alur ini, sistem mampu melakukan pemantauan dinamika kendaraan secara real-time dan memberikan respons cepat terhadap kondisi berisiko tanpa bergantung pada koneksi internet.

E. Konfigurasi Pin

Konfigurasi antar setiap komponen dengan nodeMCU ditunjukkan pada tabel berikut:

Komponen	Pin Modul	Pin NodeMCU
MPU6050	SDA	D3
MPU6050	SCL	D4
YL-99	OUT	D1
GPS Neo 6M	TX	RX
GPS Neo 6M	RX	TX
SIM800L	TX	D8
SIM800L	RX	D7
Buzzer	OUT	D2

Tujuan perancangan perangkat lunak adalah membangun sistem yang mampu menjalankan fungsi pemantauan keselamatan dinamis kendaraan secara real-time. Perangkat lunak dirancang untuk mengelola proses akuisisi data sensor, perhitungan percepatan resultan, klasifikasi kondisi dinamis berbasis ambang batas 2 g, serta pengiriman informasi kondisi kendaraan melalui jaringan GSM.

Arduino Integrated Development Environment (IDE) digunakan untuk menulis, mengedit, mengompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Bahasa pemrograman yang digunakan berbasis C/C++ dengan dukungan library komunikasi I2C untuk MPU6050, komunikasi serial untuk GPS Neo-6M dan SIM800L, serta pengolahan matematis untuk perhitungan percepatan resultan.



The diagram illustrates the hardware components of the IoT-based fire alarm system. At the center is the **NodeMCU ESP8266** microcontroller. It is connected to several modules:

- MPL9050D** (Accelerometer) provides **Acceleration Data** to the NodeMCU.
- GPS Neo-6M** provides **GPS Data** to the NodeMCU.
- YL-99** (Vibration sensor) provides a **Vibration Signal** to the NodeMCU.
- YL-99** (Smoke sensor) provides an **SMS Notification** signal to the NodeMCU.
- SIM800L** (GSM module) is connected to the NodeMCU for communication.
- Battery & DC-DC Converter** provides **Power** to the NodeMCU.
- Piezo Buzzer** is connected to the NodeMCU for local alerts.

Sistem pemantauan keselamatan dinamis menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai pusat kendali utama. Sistem ini dirancang untuk menganalisis kondisi dinamika kendaraan secara kontinu dan mengidentifikasi kondisi dinamis ekstrem yang berpotensi meningkatkan risiko operasional.

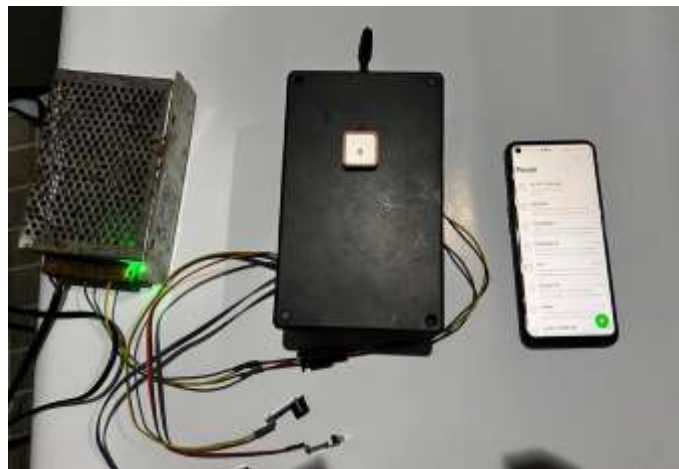
Seluruh sistem disuplai oleh baterai kendaraan yang dilengkapi modul penurun tegangan untuk menjaga kestabilan daya setiap komponen. Dengan konfigurasi ini, NodeMCU ESP8266 mampu mengintegrasikan sistem sensor dan modul komunikasi dalam satu arsitektur sistem tertanam berkompleksitas rendah yang sesuai untuk kendaraan listrik hemat energi berbobot ringan.

A. Hasil Perancangan Perangkat Keras

Sistem Dynamic Safety Monitoring System telah berhasil diimplementasikan pada prototype mobil listrik IMEI Team Umsida. Sistem ini menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai unit pemrosesan utama yang terintegrasi dengan sensor MPU6050, sensor getaran YL-99, modul GPS Neo-6M, buzzer, serta modul GSM SIM800L sebagai media komunikasi darurat.

Berbeda dengan sistem respons kecelakaan konvensional, sistem ini dirancang untuk melakukan pemantauan kondisi dinamis kendaraan secara kontinu (real-time monitoring). Sistem menganalisis perubahan percepatan kendaraan berdasarkan ambang batas 2 g untuk mengidentifikasi kondisi dinamis ekstrem seperti benturan, kemiringan tajam, atau potensi terguling.

Implementasi sistem mencakup integrasi perangkat keras dan pengembangan perangkat lunak untuk membaca data sensor, menghitung percepatan resultan, membandingkan dengan nilai ambang batas, serta mengirimkan notifikasi lokasi kendaraan secara otomatis melalui SMS apabila terdeteksi kondisi dinamis berisiko. Sistem bekerja secara real-time tanpa ketergantungan koneksi internet sehingga sesuai untuk kendaraan kompetisi di lintasan.



Gambar 6. Perangkat Keras

B. Hasil Pengujian Sensor MPU6050

Pengujian sensor MPU6050 dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi perubahan percepatan dan orientasi kendaraan sebagai indikator kondisi dinamis ekstrem. Sensor membaca percepatan pada sumbu X, Y, dan Z, kemudian dibandingkan dengan ambang batas 2 g.

No	Kondisi Pengujian	Sumbu X (g)	Sumbu Y (g)	Sumbu Z (g)	Status
1	Normal (Diam)	0.01	0.02	0.51	Tidak terdeteksi
2	Jalan Rata	0.05	0.07	0.83	Tidak terdeteksi
3	Guncangan ringan	0.34	0.26	0.84	Tidak terdeteksi
4	Guncangan sedang	0.80	0.91	0.76	Tidak terdeteksi
5	Kemiringan mendadak	2.15	2.22	0.50	Terdeteksi
6	Benturan ringan	2.30	2.70	0.33	Terdeteksi
7	Benturan keras	2.92	2.87	0.23	Terdeteksi
8	Simulasi Terguling	3.11	3.17	0.15	Terdeteksi

Berdasarkan hasil pengujian, sensor MPU6050 mampu membedakan kondisi operasional normal dengan kondisi dinamis ekstrem secara jelas. Pada kondisi normal hingga guncangan sedang, nilai percepatan berada di bawah ambang batas 2 g sehingga sistem tidak mengaktifkan respons. Sebaliknya, pada kondisi kemiringan mendadak,

benturan, dan simulasi terguling, terjadi lonjakan percepatan melebihi ambang batas sehingga sistem mengidentifikasi kondisi sebagai keadaan berisiko.

Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan threshold 2 g efektif dalam meminimalkan false alarm sekaligus tetap responsif terhadap kondisi dinamis berbahaya.

C. Hasil Pengujian Sensor YL-99

Sensor YL-99 digunakan sebagai sensor verifikasi untuk mendeteksi adanya impuls benturan fisik. Sensor ini bekerja dalam bentuk logika digital (HIGH/LOW).

No	Kondisi Pengujian	Intensitas Benturan	Output Sensor	Status
1	Tidak ada benturan	-	LOW	Tidak terdeteksi
2	Sentuhan ringan	Ringan	LOW	Tidak terdeteksi
3	Benturan ringan	Ringan	LOW	Tidak terdeteksi
4	Benturan sedang	Sedang	HIGH	Terdeteksi
5	Benturan keras	Tinggi	HIGH	Terdeteksi
6	Simulasi tabrakan	Ekstrem	HIGH	Terdeteksi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor YL-99 tidak sensitif terhadap gangguan kecil sehingga mampu mengurangi potensi kesalahan deteksi. Sensor hanya aktif pada benturan sedang hingga ekstrem, sehingga berfungsi sebagai validasi tambahan terhadap data percepatan dari MPU6050. Kombinasi MPU6050 dan YL-99 meningkatkan keandalan sistem dalam mendeteksi kondisi dinamis ekstrem secara lebih akurat.

D. Hasil Pengujian GPS Neo-6M

Pengujian GPS Neo-6M dilakukan untuk mengevaluasi akurasi sistem dalam menentukan posisi kendaraan ketika kondisi dinamis ekstrem terdeteksi.

Lokasi Pengujian	Koordinat sistem	Koordinat referensi	Selisih jarak	Keterangan
Depan Perpustakaan 2 Umsida	-7.445210, 112.716540	-7.445205, 112.716548	4.4	Akurat
Pintu keluar	-7.445322, 112.716612	-7.445330, 112.716620	5.4	Akurat
Workshop Imei	-7.445480, 112.716730	-7.445492, 112.716735	6.2	Akurat
Area parkir	-7.445612, 112.716812	-7.445620, 112.716820	5.6	Akurat
Pintu Masuk	-7.445860, 112.717010	-7.445872, 112.717025	7.2	Akurat

Hasil pengujian menunjukkan bahwa selisih koordinat antara sistem dan referensi berada pada rentang 4–8 meter. Nilai ini masih dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk aplikasi sistem pemantauan keselamatan kendaraan. Faktor yang mempengaruhi akurasi meliputi kualitas sinyal satelit, kondisi lingkungan, dan waktu akuisisi sinyal (time to first fix). Dengan tingkat akurasi tersebut, sistem mampu memberikan informasi lokasi yang cukup presisi untuk kebutuhan pemantauan dan respons cepat tim teknis.

E. Hasil Pengujian SMS SIM800L

No	Lokasi Pengujian	Kualitas Sinyal	Delay SMS (detik)	Keterangan
1	Depan Perpustakaan 2 Umsida	Bagus	7	SMS Berhasil
2	Pintu keluar	Sangat Bagus	5	SMS Berhasil
3	Workshop Imei	Bagus	8	SMS Berhasil
4	Area parkir	Bagus	8	SMS Berhasil
5	Pintu Masuk	Sedang	9	SMS Berhasil

Pengujian modul SIM800L menunjukkan bahwa notifikasi SMS berhasil dikirim pada seluruh lokasi pengujian dengan delay antara 6–9 detik, tergantung kualitas sinyal jaringan.

Meskipun terdapat variasi delay, seluruh pesan berhasil diterima tanpa kegagalan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem komunikasi berbasis GSM cukup stabil dan andal untuk digunakan sebagai media peringatan darurat pada kendaraan listrik kompetisi

F. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian	MPU6050	Sensor YL-99	GPS Neo	SIM800L	Buzzer	Status
Kedadaan Normal	normal	Tidak Aktif	aktif	Tidak Terkirim	Off	Tidak Terdeteksi
Tikungan	<threshold	Tidak Aktif	Aktif	Tidak Terkirim	Off	Tidak Terdeteksi
Jatuh ke kanan - kiri	>threshold	Aktif	Aktif	Terkirim	ON	Terdeteksi
Tabrakan	>threshold	Aktif	Aktif	Terkirim	On	Terdeteksi
Terguling	>threshold	Aktif	aktif	Terkirim	On	Terdeteksi

Berdasarkan hasil pengujian terpadu, sistem Dynamic Safety Monitoring mampu bekerja secara konsisten pada seluruh skenario pengujian. Pada kondisi normal maupun manuver biasa, sistem tidak memberikan respons sehingga tidak terjadi *false alarm*. Sebaliknya, ketika terjadi kondisi dinamis ekstrem yang ditandai dengan lonjakan percepatan melebihi 2 g, sistem secara otomatis mendeteksi anomali tersebut, memverifikasi adanya benturan melalui sensor YL-99, mengambil koordinat lokasi kendaraan menggunakan modul GPS, mengirimkan notifikasi melalui SMS, serta mengaktifkan buzzer sebagai alarm lokal. Respons yang cepat dan konsisten ini menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan kondisi operasional normal dan kondisi dinamis berisiko dengan tingkat keandalan yang baik.

VII. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, sistem Dynamic Safety Monitoring berbasis ESP8266 berhasil dikembangkan sebagai mekanisme peningkatan keselamatan aktif pada kendaraan listrik hemat energi. Sistem ini mampu melakukan pemantauan dinamika kendaraan secara real-time melalui pengukuran percepatan tiga sumbu menggunakan sensor MPU6050 yang dikombinasikan dengan sensor getaran YL-99 sebagai verifikasi impuls mekanik. Penerapan algoritma klasifikasi berbasis ambang batas 2 g dengan mekanisme verifikasi ganda terbukti efektif dalam membedakan kondisi operasional normal dan kondisi dinamis ekstrem tanpa menghasilkan *false alarm* pada manuver biasa atau guncangan ringan. Kebaruan sistem terletak pada integrasi pendekatan *multi-sensor threshold verification* dalam arsitektur sistem tertanam berkompleksitas rendah yang tetap efisien dari sisi daya dan sumber daya komputasi. Integrasi modul GPS Neo-6M dan komunikasi GSM SIM800L memungkinkan sistem tidak hanya melakukan pemantauan lokal, tetapi juga memberikan notifikasi kondisi dan lokasi kendaraan secara cepat tanpa ketergantungan koneksi internet. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan menunjukkan kinerja yang stabil, responsif, dan konsisten, sehingga layak diterapkan sebagai solusi peningkatan keselamatan aktif pada kendaraan listrik ringan yang memiliki keterbatasan ruang dan sumber daya sistem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan penghargaan setinggi-tingginya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam proses penelitian ini. Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada tim dan pengelola Laboratorium IMEI atas fasilitas, bimbingan teknis, serta lingkungan riset yang kondusif selama pelaksanaan perancangan dan pengujian sistem. Dukungan, saran, dan kerja sama yang diberikan menjadi faktor penting dalam terselenggaranya penelitian ini hingga tahap penyelesaian dengan baik.

REFERENSI

- [1] I. Anshory, F. Teknik, and U. Muhammadiyah, "Performance Analysis Stability Of Speed Control Of BLDC Motor Using PID-BAT Algorithm In Electric Vehicle," vol. 1, no. 1, pp. 22–28, 2017.
- [2] A. Y. F. Hidavat *et al.*, "Implementation of MPU6050 Module Based On ROS and PID Controller as Stabilization Control and Rotational Motion of SAR Robot," in *2024 International Conference on Electrical and Information Technology (IEIT)*, 2024, pp. 121–126. doi: 10.1109/IEIT64341.2024.10763060.

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

- [3] C. Cholimurrohmana, I. Sulistiyowati, and A. Wicaksana, "System Telemetry for Mobile Devices Using the GPS Neo-6M and DHT11 Modules A Case Study by IMEI Team," *JEEMECS (Journal Electr. Eng. Mechatron. Comput. Sci.)*, vol. 6, no. 2, pp. 57–66, 2023, doi: 10.26905/jeemecs.v6i2.9945.
- [4] M. Pokydko, O. Oliinyk, and V. Tymchenko, "MEMS Gyroscope Based on MPU-6050 Sensor and ATmega328 Microcontroller," in *2024 IEEE 7th International Conference on Smart Technologies in Power Engineering and Electronics (STEE)*, 2024, p. TT3.39.1-TT3.39.6. doi: 10.1109/STEE63556.2024.10748180.
- [5] I. E. Paromtchik, M. Perrollaz, and C. Laugier, "Fusion of telemetric and visual data from road scenes with a lexus experimental platform," in *2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2011, pp. 746–751. doi: 10.1109/IVS.2011.5940571.
- [6] J. R. Chandiramani, S. Bhandari, and S. A. Hariprasad, "Vehicle Data Acquisition and Telemetry," in *2014 Fifth International Conference on Signal and Image Processing*, 2014, pp. 187–191. doi: 10.1109/ICSIP.2014.35.
- [7] N.-T. Hoang, H.-P. Vo, P.-T. Le, C.-L. Tran, N.-D. Trinh, and T.-A.-D. Pham, "The Innovative Design of the Electric Vehicles for Shell Eco-Marathon Asia Contest," in *2022 6th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD)*, 2022, pp. 296–302. doi: 10.1109/GTSD54989.2022.9988988.
- [8] F. Anugreni, D. N. Ilham, M. K. Harahap, P. A. Selatan, P. G. Medan, and U. Asahan, "Implementation of the Internet of Things on a Wheelchair using the MPU6050 Sensor," vol. 1, no. 1, pp. 28–33, 2023.
- [9] S.-T. Hsieh and C.-L. Lin, "Fall Detection Algorithm Based on MPU6050 and Long-Term Short-Term Memory network," in *2020 International Automatic Control Conference (CACS)*, 2020, pp. 1–5. doi: 10.1109/CACS50047.2020.9289769.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.