

Rancang Bangun Sistem Monitoring *Real Time* Pelanggaran Kecepatan Dan Manuver Agresif Pengemudi Angkutan Umum Berbasis *IoT*

Muhammad Fikri Ananda¹, **Alfan Baharuddin^{1*}**, Helmi Wibowo², Dwi Wahyu Hidayat¹

¹Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan Tegal

²Program Studi D3 Teknologi Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan Tegal

*Email: alfan@pktj.ac.id

Info Artikel

Kata Kunci :

Internet of Things, ESP32, GPS Beitian BN-220, MPU 6500, Monitoring Perilaku Pengemudi, Keselamatan Berkendara

Keywords :

Internet of Things, ESP32; Beitian BN-220 GPS, MPU6500, Driver Behavior Monitoring, Driving Safety, Violation Detection

Tanggal Artikel

Dikirim : 21 April 2026

Direvisi : 12 Juni 2026 2026

Diterima : 21 Oktober 2026

Abstrak

Kecelakaan lalu lintas di Indonesia masih menjadi permasalahan serius dengan tercatatnya 217.218 kasus pada periode Juni 2024 hingga November 2025, di mana 95% disebabkan oleh faktor perilaku pengemudi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem monitoring perilaku pengemudi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu mendeteksi pelanggaran berkendara secara *real-time*. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor GPS Beitian BN-220, dan sensor MPU6500 untuk mendeteksi tiga parameter pelanggaran secara simultan, meliputi kecepatan berlebih, pengereman mendadak, dan manuver zig-zag. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan ADDIE. Hasil pengujian sensor GPS Beitian BN-220 menunjukkan rata-rata error koordinat latitude sebesar 0,055301% dan longitude sebesar 0,00003074%, sensor MPU6500 menghasilkan rata-rata error sebesar 1,92% terhadap inclinometer digital, serta pembacaan kecepatan berbasis GPS memperoleh rata-rata error sebesar 1,35% terhadap speedometer kendaraan. Pengujian sistem secara keseluruhan pada delapan skenario membuktikan bahwa sistem mampu merespons seluruh kondisi pelanggaran secara tepat.

Abstract

Traffic accidents in Indonesia remain a serious problem, with 217,218 cases recorded during the period from June 2024 to November 2025, of which 95% are caused by driver behavior. This study aims to design and develop a driver behavior monitoring system based on the Internet of Things (IoT) capable of detecting driving violations in real time. The developed system integrates an ESP32 microcontroller, a GPS Beitian BN-220 sensor, and an MPU6500 sensor to simultaneously detect three violation parameters, namely overspeeding, sudden braking, and zig-zag maneuvers. The research method used is Research and Development (R&D) with the ADDIE development model. The testing results show that the GPS Beitian BN-220 sensor has an average latitude coordinate error of 0.055301% and longitude error of 0.00003074%. The MPU6500 sensor produces an average error of 1.92% compared to a digital inclinometer, while GPS-based speed measurements yield an average error of 1.35% compared to the vehicle speedometer. Overall system testing conducted under eight scenarios demonstrates that the system is capable of accurately responding to all violation conditions, both individually and in combination.

1. PENDAHULUAN

Kecelakaan lalu lintas menjadi masalah serius di Indonesia, kecelakaan lalu lintas merupakan salah satu penyebab utama kematian [1] Data Pusat Informasi dan Komunikasi Nasional (Pusiknas) Korlantas Polri mencatat 217.218 kasus kecelakaan pada periode 2024 – 2025 dengan total 328.209 korban [2]. Faktor penyebab kecelakaan meliputi manusia, kendaraan, dan lingkungan[3]namun sekitar 95% kasus didominasi oleh faktor manusia, seperti kurang fokus, kelelahan, dan berkendara dengan kecepatan tinggi [4]. Kecepatan yang berlebihan mengurangi waktu reaksi pengemudi dan meningkatkan risiko kecelakaan, terutama pada kecepatan di atas 90 km/jam [5]. Hal ini menunjukkan bahwa perilaku pengemudi menjadi faktor utama yang memengaruhi risiko kecelakaan di jalan raya.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perilaku berkendara berisiko seperti melanggar batas kecepatan, mengemudi dalam kondisi lelah, dan kurangnya pemahaman terhadap rambu lalu lintas memiliki hubungan signifikan dengan tingginya angka kecelakaan, khususnya pada kendaraan pribadi dan angkutan umum [6]Pada angkutan umum, perilaku pengemudi tidak hanya berdampak pada diri sendiri tetapi juga terhadap keselamatan penumpang dan pengguna jalan lainnya. Pelanggaran seperti kecepatan tinggi, pengereman mendadak, serta manuver tanpa isyarat masih sering terjadi dan berpotensi menimbulkan kecelakaan [7].

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan terkait sistem monitoring kendaraan. [8] dalam penelitian berjudul Sistem Monitoring Kendaraan Logistik Secara *Real-Time* Berbasis *Internet of Things* (IoT) mengembangkan sistem yang mampu menampilkan posisi, jalur perjalanan, serta kecepatan kendaraan secara *real-time* menggunakan perangkat GPS yang terintegrasi dengan server web dan divisualisasikan melalui *Google Maps* API, sehingga mendukung pemantauan kendaraan oleh pihak manajemen. Selanjutnya, [9] melalui penelitian Implementasi Sistem Monitoring Bus Trans Semarang Berbasis LoRa berhasil mengirimkan data lokasi dan kecepatan kendaraan menggunakan teknologi LoRa hingga jarak 2.200 meter tanpa memerlukan koneksi internet, sehingga efektif untuk komunikasi jarak jauh. Selain itu, [10] dalam penelitian Rancang Bangun Sistem Kontrol Kecepatan Jarak Jauh Berbasis Arduino Pada Kendaraan Bus Untuk Mengurangi Terjadinya Kecepatan Berlebih mengembangkan sistem yang mampu memantau sekaligus mengontrol kecepatan kendaraan secara jarak jauh untuk meminimalkan pelanggaran kecepatan.

Namun demikian, ketiga penelitian tersebut masih memiliki beberapa keterbatasan, yaitu belum mampu mendeteksi perilaku pelanggaran secara komprehensif seperti manuver agresif, belum menyediakan peringatan langsung kepada pengemudi, serta belum sepenuhnya terintegrasi dalam sistem monitoring berbasis IoT dan web dashboard secara *real-time* yang dapat digunakan untuk pengawasan secara optimal oleh pihak manajemen

Berdasarkan permasalahan dan keterbatasan pada penelitian sebelumnya, diperlukan suatu sistem yang tidak hanya mampu melakukan pemantauan kendaraan, tetapi juga dapat mendeteksi perilaku pelanggaran secara komprehensif serta memberikan respon secara langsung kepada pengemudi. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32, sensor GPS, dan sensor akselerometer untuk mendeteksi pelanggaran kecepatan, pengereman mendadak, serta manuver agresif secara *real-time*. Teknologi ini berperan penting dalam mendukung otomatisasi dan efisiensi, termasuk dalam upaya memantau serta mengendalikan perilaku pengemudi secara *real-time*[11] Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan fitur peringatan suara sebagai bentuk umpan balik langsung kepada pengemudi, serta dashboard web yang memungkinkan pihak manajemen melakukan pemantauan dan evaluasi secara berkelanjutan.

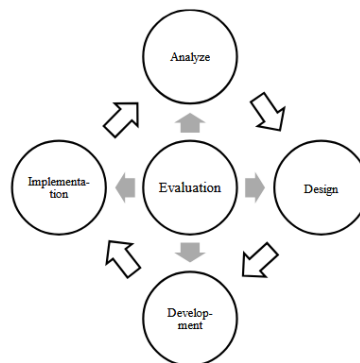
Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring *real-time* perilaku pelanggaran pengemudi angkutan umum berbasis IoT dan web dashboard yang mampu mendeteksi pelanggaran kecepatan dan manuver agresif secara otomatis, memberikan peringatan suara kepada pengemudi ketika terjadi pelanggaran, serta menyajikan informasi posisi kendaraan, kecepatan, dan status pelanggaran secara *real-time* kepada pihak manajemen. Dengan adanya sistem ini, diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengawasan operasional angkutan umum, membantu perusahaan dalam melakukan evaluasi terhadap perilaku pengemudi, meningkatkan disiplin berkendara, serta berkontribusi dalam upaya menurunkan risiko dan angka kecelakaan lalu lintas pada sektor transportasi umum.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan ADDIE yang meliputi tahap *Analyze*, *Design*, *Development*, *Implementation*, dan *Evaluation*. Metode *Research and Development* (R&D) merupakan pendekatan sistematis yang digunakan untuk melakukan proses penelitian, perancangan, pengembangan, serta pengujian produk secara ilmiah guna memastikan validitasnya [12]. Metode ini bertujuan untuk menghasilkan produk baru atau menyempurnakan produk yang telah ada melalui tahapan yang terstruktur sehingga hasilnya dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah [13].

Dalam penerapannya, metode R&D memiliki empat level pengembangan. Level 1 merupakan penelitian yang hanya menghasilkan rancangan tanpa pembuatan dan pengujian produk. Level 2 berfokus pada pengujian produk yang sudah ada tanpa melalui proses penelitian. Level 3 mencakup kegiatan pengembangan atau revisi produk yang telah ada beserta pengujian keefektifannya. Sementara itu, Level 4 merupakan tahapan tertinggi, yaitu penelitian yang menghasilkan produk baru sekaligus menguji keefektifannya [14].

Model pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ADDIE* (*Analyze, Design, Develop, Implement, Evaluate*) yang ditunjukkan pada Gambar 1, yang dikembangkan pada tahun 1970an dan digunakan dalam pengembangan produk berbasis kinerja. Model ini terdiri dari lima tahapan yang saling berkesinambungan, mulai dari analisis, perancangan, pengembangan, implementasi, hingga evaluasi. Meskipun evaluasi berada pada tahap akhir, proses evaluasi dilakukan secara berkelanjutan pada setiap tahapan untuk memastikan kualitas dan efektivitas produk yang dikembangkan [15].



Gambar 1 Model Pengembangan ADDIE

Analisis (*Analyze*)

Tahap analisis dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan pelanggaran kecepatan dan manuver agresif pada pengemudi angkutan umum serta kebutuhan sistem monitoring yang mampu menampilkan data secara *real-time* melalui web dashboard berbasis IoT.

Perancangan (*Design*)

Pada tahap ini dilakukan perancangan arsitektur sistem, skema rangkaian, dan pemilihan komponen. Sistem dirancang untuk mendeteksi kecepatan, manuver agresif, dan lokasi kendaraan serta menampilkan hasil monitoring melalui web dashboard.

Pengembangan (*Development*)

Tahap pengembangan meliputi perakitan perangkat keras dan pemrograman perangkat lunak. Mikrokontroler ESP32 diintegrasikan dengan sensor GPS Beitian BN-220 dan MPU6500 untuk memperoleh data kecepatan, lokasi, dan perilaku berkendara yang kemudian dikirim ke server IoT.

Implementasi (*Implementation*)

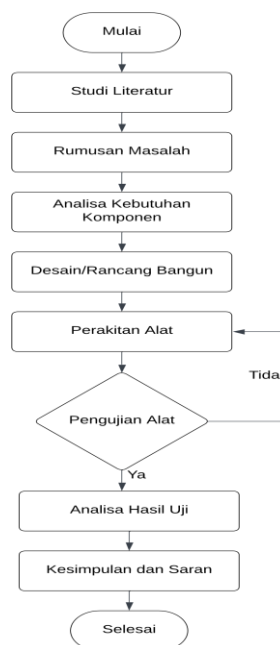
Sistem yang telah dikembangkan dipasang pada kendaraan dan diuji di lapangan. Pengujian dilakukan untuk memastikan proses akuisisi, pengiriman, dan visualisasi data dapat berjalan secara *real-time*.

Evaluasi (*Evaluation*)

Tahap evaluasi dilakukan dengan menguji kinerja dan akurasi sistem dalam mendeteksi kecepatan berlebih, pengereman mendadak, dan manuver zig-zag. Hasil pengujian dianalisis untuk menilai efektivitas sistem yang dikembangkan.

2.1 Diagram Alir Penelitian

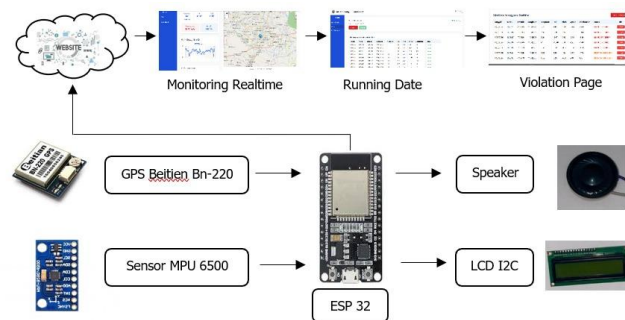
Pada Gambar 2 menunjukkan alur tahapan penelitian yang dilakukan secara sistematis mulai dari tahap awal hingga tahap akhir untuk memastikan alat yang dirancang dapat berfungsi sesuai tujuan. Setiap tahapan berperan dalam menghasilkan sistem yang *valid* dan bermanfaat, serta membantu meminimalkan kesalahan dan meningkatkan efisiensi penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.2 Diagram Alir Rancangan

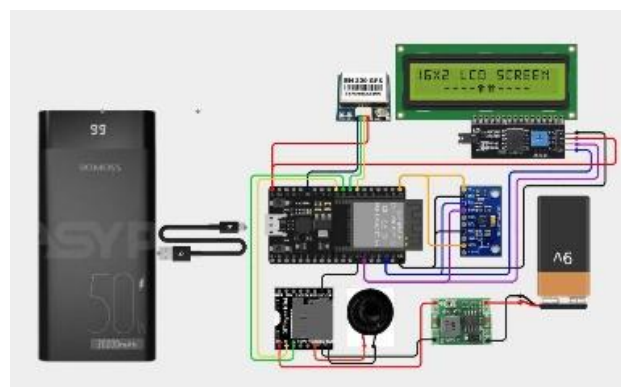
Pada Gambar 3 menunjukkan alur kerja sistem monitoring berbasis IoT yang diawali dengan proses pembacaan data oleh sensor GPS dan MPU6500. Data yang diperoleh kemudian diolah oleh ESP32 untuk mendeteksi potensi pelanggaran, seperti kecepatan berlebih dan manuver agresif. Hasil pengolahan data tersebut selanjutnya ditampilkan pada LCD serta dikirimkan ke web dashboard. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur monitoring secara *real-time* yang memungkinkan pengawasan kondisi kendaraan secara langsung, penampilan data berjalan (*live data streaming*), serta perekaman setiap pelanggaran yang terjadi. Selain itu, sistem akan memberikan peringatan suara kepada pengemudi apabila terdeteksi adanya pelanggaran, sehingga dapat meningkatkan kewaspadaan dan keselamatan berkendara.



Gambar 3. Diagram Alir Rancangan

2.3 Perancangan Perangkat Keras

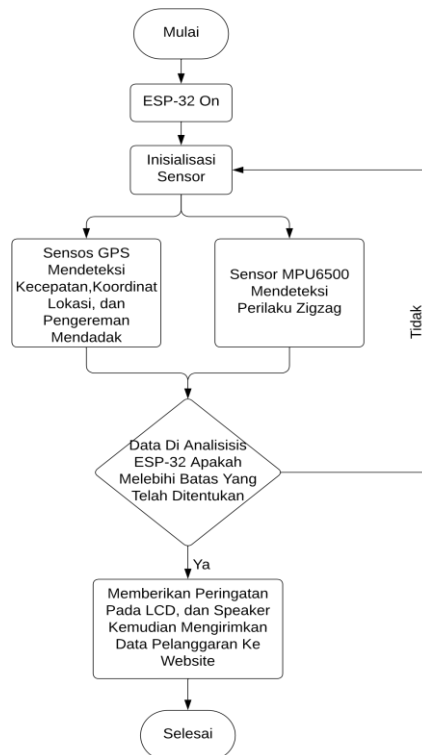
Pada gambar 4 ditunjukkan perancangan perangkat keras pada sistem ini disusun secara terintegrasi dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali utama yang mengoordinasikan seluruh proses *input* dan *output*. Sensor GPS dimanfaatkan untuk memperoleh data kecepatan serta koordinat lokasi kendaraan secara *real-time*, sedangkan sensor MPU6500 digunakan untuk mendeteksi pola pergerakan kendaraan seperti manuver agresif atau zig-zag. Informasi yang telah diolah oleh mikrokontroler kemudian ditampilkan melalui LCD 16x2 sebagai media visual, serta diperkuat dengan buzzer sebagai peringatan audio ketika terdeteksi kondisi pelanggaran. Seluruh komponen dihubungkan melalui rangkaian sistem kelistrikan yang dirancang secara sistematis, sehingga mampu mendukung kinerja alat dalam melakukan monitoring perilaku berkendara secara akurat, responsif, dan berkelanjutan.



Gambar 4. Perancangan Perangkat Keras

2.4 Perancangan Alur Sistem

Saat sistem diaktifkan, mikrokontroler ESP32 akan melakukan inisialisasi terhadap sensor Beitian BN-220 dan MPU6500. Sensor GPS berfungsi untuk memperoleh data kecepatan kendaraan, koordinat lokasi berupa *latitude* dan *longitude*, serta mendeteksi kejadian pengereman mendadak berdasarkan perubahan kecepatan secara signifikan dalam waktu singkat. Sementara itu, sensor MPU6500 digunakan untuk mengidentifikasi pergerakan zig-zag atau manuver agresif kendaraan melalui pembacaan parameter gerak. Seluruh data yang diperoleh dari kedua sensor tersebut kemudian dikirimkan ke ESP32 untuk diproses lebih lanjut. Data yang telah diterima akan diolah guna menentukan kondisi kendaraan, dan apabila terdeteksi adanya pelanggaran seperti kecepatan melebihi ambang batas, pengereman mendadak, atau pergerakan zig-zag, maka sistem akan memberikan peringatan secara langsung melalui tampilan LCD dan speaker pada kendaraan. Selain itu, informasi pelanggaran beserta lokasi kendaraan juga dikirimkan secara *real-time* ke server dan ditampilkan pada halaman web, sehingga dapat dipantau secara langsung oleh pihak manajemen. Perancangan alur sistem disajikan pada Gambar 5.



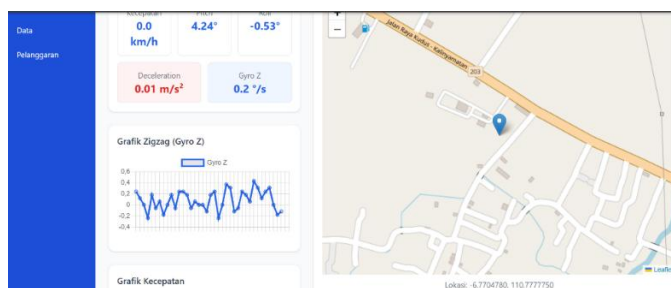
Gambar 5. Perancangan Alur Sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan sistem monitoring perilaku pengemudi berbasis *Internet of Things* ini terdiri dari mikrokontroler ESP32, sensor GPS, dan sensor MPU6500 sebagai komponen utama. ESP32 berperan sebagai pusat kendali yang terhubung ke jaringan internet melalui WiFi untuk mengirimkan data secara *real-time* ke server dan ditampilkan pada web dashboard. Sensor GPS digunakan untuk memperoleh data kecepatan, lokasi kendaraan, serta mendeteksi pengereman mendadak, sedangkan MPU6500 berfungsi mendeteksi manuver agresif seperti pergerakan zig-zag. Sistem juga dilengkapi dengan LCD dan speaker sebagai peringatan langsung kepada pengemudi. Dengan demikian, sistem ini mampu meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pemantauan perilaku pengemudi secara *real-time* dan terintegrasi.

3.1 Pengujian Sensor GPS

Pengujian sensor GPS dilakukan untuk memastikan tingkat keakuratan pembacaan koordinat lokasi oleh perangkat. Nilai koordinat yang diperoleh dari modul GPS Beitien BN-220 kemudian dibandingkan dengan koordinat lokasi sebenarnya yang ditampilkan melalui Google Maps. Hasil perbandingan tersebut digunakan untuk mengetahui selisih nilai koordinat serta menghitung tingkat kesalahan (*error*) dari pembacaan sensor GPS. Latitude website disajikan pada Gambar 6 dan latitude Google Maps disajikan pada Gambar 7.



Gambar 6. Latitude Website

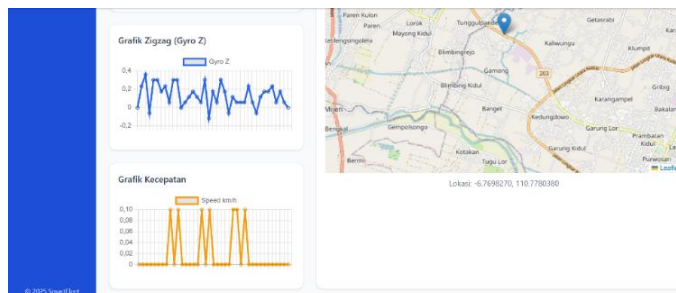


Gambar 7. Latitude Google Maps

Tabel 1. Pengujian Latitude

<i>Latitude</i> BN-220	<i>Latitude</i> Google Maps	Selisih	Error (%)
-6.7704780	-6.7705057	0.0002770	0.0004091%
-6.7698240	-6.7698555	0.0003150	0.0004653%
-6.7691110	-6.7691157	0.0000470	0.0000694%
-6.7657820	-6.7657230	0.0005900	0.0008720%
-6.7577510	-6.7577767	0.0002570	0.0003803%
-6.7463380	-6.7463238	0.0001420	0.0002105%
-6.7337760	-6.7338339	0.0005790	0.0008598%
-6.7383320	-6.7383901	0.0005810	0.0008622%
-6.7416050	-6.7416661	0.0006110	0.0009063%
-6.7442990	-6.7443324	0.0003340	0.0004952%
Rata – Rata Error			0.055301%

Hasil pengujian pada Tabel 1 menunjukkan akurasi koordinat latitude antara sensor Beitian BN-220 dan referensi Google Maps menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat presisi yang sangat baik. Berdasarkan 10 titik pengujian yang telah dilakukan, diperoleh selisih nilai *latitude* yang relatif kecil, yaitu berada pada kisaran 0.0000470 hingga 0.0006110 derajat. Persentase error yang dihasilkan juga tergolong rendah, dengan rentang antara 0.0000694% hingga 0.0009063% dan nilai rata-rata sebesar 0.055301%. Dapat disimpulkan bahwa sensor GPS BN-220 mampu menghasilkan data koordinat yang mendekati nilai acuan dengan tingkat penyimpangan yang minimal. Longitude website disajikan pada Gambar 8 dan longitude Google Maps disajikan pada Gambar 9.



Gambar 8. Longitude Website



Gambar 9. Longitude Google Maps

Tabel 2. Pengujian Longitude

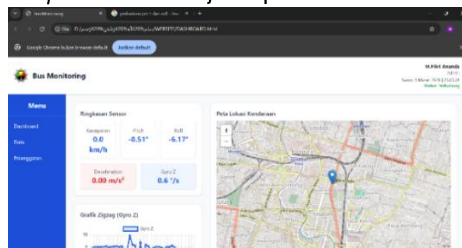
<i>Longitude</i> BN-220	<i>longitude</i> Google Maps	Selisih	Error (%)
110.77777500	110.77779320	0.000000182	0.00001643%
110.77803800	110.77804600	0.000000080	0.00000722%
110.77693700	110.77699390	0.000000569	0.00001325%
110.77125800	110.77124860	0.000000094	0.00000849%
110.76604600	110.76606590	0.000000199	0.00001797%
110.75328600	110.75337100	0.000000850	0.00007675%
110.73297500	110.73296840	0.000000066	0.00000596%
110.73812100	110.73818360	0.000000626	0.00005653%
110.74240800	110.74247920	0.000000712	0.00006429%
110.74796400	110.74800890	0.000000449	0.00004054%
Rata – Rata Error			0.00003074%

Hasil pengujian akurasi koordinat *longitude* antara sensor Beitian BN-220 dan referensi Google Maps (Tabel 2) menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat presisi yang sangat baik. Berdasarkan 10 titik pengujian yang telah

dilakukan, diperoleh selisih nilai *longitude* yang relatif kecil, yaitu berada pada kisaran 0.000000066 hingga 0.000000850 derajat. Persentase error yang dihasilkan rendah, dengan rentang antara 0.00000596% hingga 0.00007675% dan nilai rata-rata sebesar 0.00003074%. Dapat disimpulkan bahwa sensor GPS BN-220 mampu menghasilkan data koordinat yang mendekati nilai acuan dengan tingkat penyimpangan yang minimal.

3.2 Pengujian Sensor MPU 6500

Pengujian sensor MPU 6500 dilakukan untuk mengevaluasi akurasi pembacaan sudut kemiringan kendaraan. Sensor ini berfungsi sebagai *gyroscope* yang mendeteksi perubahan orientasi kendaraan berdasarkan sumbu rotasi. Untuk menguji akurasinya, sensor dibandingkan dengan inclinometer digital sebagai alat acuan pengukuran sudut sebenarnya. *Gyroscope website* disajikan pada Gambar 10 dan *inclinometer* disajikan pada Gambar 11.



Gambar 10. Gyroscope Website



Gambar 11. Inclinometer

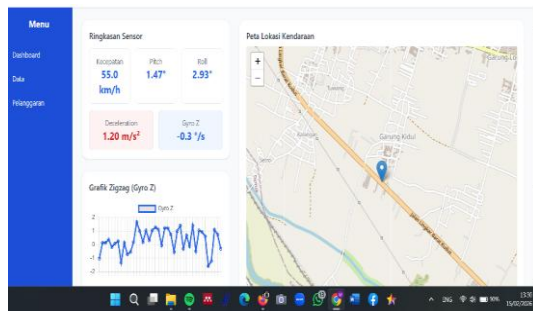
Tabel 3. Pengujian Sensor Kemiringan

MPU 6500	Inclinometer	Selisih	Error (%)
3,64°	3,40°	0,24	7,06%
4,16°	4,10°	0,06	1,46%
5,76°	5,50°	0,26	4,73%
6,17°	6,10°	0,07	1,15%
7,39°	7,45°	0,06	0,81%
8,35°	8,30°	0,05	0,60%
9,89°	9,80°	0,09	0,92%
10,66°	10,80°	0,14	1,30%
11,62°	11,75°	0,13	1,11%
12,76°	12,75°	0,01	0,08%
Rata – Rata Error			1,92%

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian perbandingan sudut kemiringan antara sensor MPU6500 dan alat referensi *inclinometer*, berdasarkan data ini sistem memiliki tingkat akurasi yang cukup baik. Berdasarkan 10 kali pengujian, selisih pengukuran sudut yang diperoleh relatif kecil, yaitu berada pada rentang 0,01° hingga 0,26°. Persentase error yang dihasilkan bervariasi antara 0,08% hingga 7,06%, dengan nilai rata-rata sebesar 1,92%. Nilai error tertinggi terjadi pada sudut kecil, yang umumnya dipengaruhi oleh sensitivitas sensor terhadap *noise* atau getaran, sedangkan pada sudut yang lebih besar, nilai error cenderung lebih stabil dan rendah. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa sensor MPU6500 mampu memberikan pembacaan sudut kemiringan yang mendekati nilai acuan, sehingga masih layak digunakan untuk mendeteksi pergerakan atau manuver kendaraan dalam sistem monitoring yang dirancang.

3.3 Pengujian Sensor Kecepatan

Pengujian sensor kecepatan dilakukan untuk mengevaluasi akurasi pembacaan kecepatan kendaraan. Sensor ini berfungsi untuk mengukur kecepatan berdasarkan data yang diperoleh dari modul GPS. Untuk menguji akurasinya, hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan speedometer kendaraan sebagai alat acuan pengukuran kecepatan sebenarnya. Hasil uji kecepatan pada website ditunjukkan pada Gambar 12 dan speedometer ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 12. Kecepatan Pada Website



Gambar 13. Spedometer

Tabel 4. Pengujian Sensor Kecepatan

Kecepatan GPS	Spidometer	Selisih	Error (%)
50 Km/h	51 Km/h	1	1,96%
55 Km/h	56 Km/h	1	1,79%
59 Km/h	60 Km/h	1	1,67%
65 Km/h	65 Km/h	0	0%
68 Km/h	69 Km/h	1	1,45%
70 Km/h	71 Km/h	1	1,41%
72 Km/h	73 Km/h	1	1,37%
75 Km/h	76 Km/h	1	1,32%
77 Km/h	78 Km/h	1	1,28%
80 Km/h	81 Km/h	1	1,23%
Rata – Rata Error			1,35%.

Berdasarkan hasil pengujian Tabel 4, dapat dijelaskan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengukur kecepatan kendaraan. Dari 10 kali pengujian, selisih kecepatan yang diperoleh relatif kecil, yaitu sebesar 0-1 Km/h. Persentase error yang dihasilkan berada pada rentang 0% hingga 1,96%, dengan nilai rata-rata sebesar 1,35%. Nilai error yang rendah ini menunjukkan bahwa hasil pembacaan kecepatan oleh sensor GPS mendekati nilai acuan dari speedometer kendaraan. Selain itu, pada kecepatan tertentu bahkan tidak ditemukan selisih (error 0%), yang menandakan tingkat kesesuaian yang sangat baik. Dengan demikian, sistem yang dirancang dapat dikatakan memiliki akurasi yang memadai dan layak digunakan untuk monitoring kecepatan kendaraan secara *real-time*.

3.4 Pengujian Sistem Keseluruhan

Dilakukan pengamatan terhadap respons sistem terhadap berbagai kondisi berkendara yang meliputi variasi kecepatan, manuver zig-zag, serta pengereman mendadak. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara kondisi *input* yang diberikan dengan keluaran sistem yang dihasilkan, baik berupa tampilan pada LCD, peringatan melalui speaker, maupun pencatatan pada website. Ilustrasi pemasangan di kendaraan ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Pemasangan Di Kendaraan

Tabel 5. Pengujian Sistem Keseluruhan

No	Input			Output		
	kecepatan	Zig-Zag	Pengereman Mendadak	LCD	Speaker	Website
1.	Normal	Tidak zig-zag	Tidak mendadak	X	X	Tidak Merekam Pelanggaran
2.	Tinggi	Tidak zig-zag	Tidak mendadak	V	V	Merekam Pelanggaran
3.	Normal	Zig-zag	Tidak mendadak	V	V	Merekam Pelanggaran
4.	Normal	Tidak zig-zag	Mendadak	V	V	Merekam Pelanggaran
5.	Tinggi	Zig-zag	Tidak mendadak	V	V	Merekam Pelanggaran
6.	Tinggi	Tidak zig-zag	Mendadak	V	V	Merekam Pelanggaran
7.	Normal	Zig-zag	Mendadak	V	V	Merekam Pelanggaran
8.	Tinggi	Zig-zag	Mendadak	V	V	Merekam Pelanggaran

Hasil pengujian sistem pada Tabel 5 menunjukkan bahwa logika deteksi pelanggaran pada sistem monitoring berbasis ESP32 telah bekerja sesuai dengan perancangan. Pada kondisi normal, yaitu ketika kecepatan berada dalam batas aman serta tidak terdeteksi manuver zig-zag maupun pengereman mendadak, sistem tidak memberikan peringatan pada LCD dan speaker serta tidak mencatat pelanggaran pada website. Sebaliknya, ketika salah satu parameter pelanggaran terdeteksi baik kecepatan tinggi, pergerakan zig-zag, maupun pengereman mendadak sistem secara otomatis mengaktifkan *output* berupa tampilan peringatan pada LCD dan suara melalui speaker, serta mencatat kejadian tersebut sebagai pelanggaran pada website. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu merespons berbagai kombinasi kondisi *input* secara tepat, di mana setiap indikasi pelanggaran, baik tunggal maupun kombinasi, dapat terdeteksi dan ditindaklanjuti dengan pemberian peringatan serta pencatatan data secara *real-time*. Dengan demikian, sistem dinilai telah berfungsi secara optimal dalam mendukung monitoring dan pengendalian perilaku pengemudi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengembangan, dan pengujian yang telah dilakukan, sistem monitoring perilaku pengemudi berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor GPS Beitian BN-220 dan sensor MPU6500 terbukti mampu mendeteksi tiga parameter pelanggaran berkendara secara simultan, meliputi kecepatan berlebih, pengereman mendadak, dan manuver zig-zag, serta menyampaikan informasi tersebut secara *real-time* melalui web dashboard. Pengujian akurasi sensor GPS Beitian BN-220 menghasilkan rata-rata error koordinat latitude sebesar 0,055301% dan longitude sebesar 0,00003074%, sementara sensor MPU6500 menunjukkan rata-rata error sebesar 1,92% terhadap nilai referensi inclinometer digital, dengan deviasi yang lebih tinggi pada sudut kecil akibat sensitivitas terhadap noise dan getaran namun tetap layak digunakan dalam kondisi operasional nyata. Pengujian akurasi kecepatan berbasis data GPS menunjukkan rata-rata error sebesar 1,35% terhadap speedometer kendaraan dengan selisih maksimum hanya 1 km/h, yang mengindikasikan kesesuaian tinggi antara pembacaan sistem dengan kondisi aktual kendaraan. Pengujian sistem secara keseluruhan pada delapan skenario pengujian membuktikan bahwa logika deteksi pelanggaran telah berfungsi secara optimal, dimana sistem berhasil memberikan respons yang tepat berupa peringatan melalui LCD dan speaker serta pencatatan otomatis pada web dashboard untuk setiap kondisi pelanggaran, baik yang bersifat tunggal maupun kombinasi, sehingga sistem yang dikembangkan memiliki potensi yang signifikan dalam mendukung pengawasan perilaku pengemudi angkutan umum, mendorong terbentuknya budaya berkendara yang lebih disiplin, serta berkontribusi terhadap upaya penurunan angka kecelakaan lalu lintas di Indonesia.

Kontribusi penelitian ini ialah mampu menghasilkan sistem monitoring perilaku pengemudi angkutan umum yang mampu mengintegrasikan fungsi deteksi pelanggaran kecepatan, pengereman mendadak, dan manuver agresif secara *real-time* dalam satu *platform* berbasis IoT dan web dashboard, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sarana pengawasan operasional oleh pihak manajemen untuk meningkatkan disiplin pengemudi dan mendukung upaya peningkatan keselamatan transportasi jalan.

5. SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan sistem dengan menambahkan parameter deteksi perilaku pengemudi yang lebih komprehensif, seperti percepatan mendadak, indikasi kelelahan, penggunaan telepon seluler saat mengemudi, dan pelanggaran rambu lalu lintas. Selain itu, integrasi teknologi *Machine Learning* atau *Artificial Intelligence* dapat diterapkan untuk melakukan analisis pola perilaku pengemudi dan prediksi risiko kecelakaan secara lebih akurat. Penggunaan sensor *GNSS multi-konstelasi* atau kombinasi GPS dengan *Inertial Measurement Unit* (IMU) juga dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan akurasi posisi dan kecepatan pada kondisi lingkungan yang menantang. Dari sisi implementasi, diperlukan pengujian dalam skala yang lebih luas pada berbagai jenis angkutan umum dan kondisi operasi yang berbeda untuk mengevaluasi keandalan sistem dalam penggunaan jangka panjang. Pengembangan fitur pelaporan historis, sistem penilaian (driver scoring), serta integrasi dengan Sistem Manajemen Keselamatan Perusahaan Angkutan Umum (SMK PAU) juga direkomendasikan agar sistem dapat digunakan sebagai alat pendukung pengambilan keputusan dalam manajemen keselamatan transportasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Susanti, C. T. D. E. Angkat, D. A. Pohan, And M. Nasution, "Analisis Faktor – Faktor Yang Berhubungan Dengan Resiko Kecelakaan Lalu Lintas," *Jurnal Kesehatan Tambusai*, Vol. 5, No. 2, Pp. 5423–5429, 2024, Doi: <https://doi.org/10.31004/Jkt.V5i2.28875>.
- [2] Pusiknas, "Statistik Laka Lantas." [Online]. Available: https://pusiknas.polri.go.id/laka_lantas
- [3] H. A. W. U. S. R. Laku, "Analisis Penyebab Kecelakaan Lalu Lintas Di Kota Semarang," *Jurnal Kajian Teknik Sipil*, Vol. 5, No. 01, Pp. 3–10, 2020, Doi: <https://doi.org/10.52447/Jkts.V5i1.4111>.
- [4] Y. Van Yallen And H. Yermadona, "Analisis Faktor-Faktor Penyebab Kecelakaan Lalu Lintas Di Jalan Raya Padang-Bukittinggi Km 67," 2022. [Online]. Available: <https://jurnal.ensiklopediaku.org/ojs-2.4.8-3/index.php/Erw/article/view/1420>
- [5] D. Prasetyanto, J. T. Sipil, W. Santosa, J. T. Sipil, And U. K. Parahyangan, "Hubungan Perubahan Kecepatan Kendaraan Dengan Jumlah Korban Kecelakaan Lalu Lintas," Vol. 11, No. 2, Pp. 95–102, Doi: <https://doi.org/10.26593/Jt.V11i2.1844.%P>.
- [6] F. M. Amalia And M. I. Nurmansyah, "Perilaku Berisiko Dalam Berkendara Dan Kejadian Kecelakaan Sepeda Motor Pada Mahasiswa," 2020. Doi: 10.33096/Woh.V3i4.638.
- [7] T. I. Litimi, H. Halim, And A. Burchanuddin, "Perilaku Sopir Angkutan Kota Terhadap Keselamatan Penumpang Di Kota Makassar (Studi Kasus Terhadap Angkutan Trayek Sentral-Btp)," Pp. 46–53, 2021, [Online]. Available: <https://journal.unibos.ac.id/jsk/article/view/1343>
- [8] G. Munawar And P. N. Bandung, "Sistem Monitoring Kendaraan Logistik Secara Real- Time Berbasis Internet Of Things (Iot)," Vol. 01, No. November, Pp. 20–26, 2024, Doi: <https://doi.org/10.70656/ljcs.V1i02.118>.
- [9] T. Darmana, F. Annas, And . A., "Implementasi Sistem Monitoring Bus Trans Semarang Berbasis Lora (Long Range)," *Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi*, Vol. 32, No. 1, Pp. 24–40, 2022, Doi: 10.37277/Stch.V32i1.1239.
- [10] S. Krisnahdi, Dominikus Ananda Hariyanto, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Kecepatan Jarak Jauh Berbasis Arduino Pada Kendaraan Bus Untuk Mengurangi Terjadinya Kecepatan Berlebih," 2025. Doi: <https://doi.org/10.36040/Jati.V9i3.13355>.
- [11] N. L. Anggreini, N. Ekawati, And H. N. Ichsan, "Prototype Sistem Kendali Pintu Gerbang Otomatis Berbasis Internet Of Things (Iot)," *Infotekmesin*, Vol. 14, No. 2, Pp. 257–264, 2023, Doi: 10.35970/Infotekmesin.V14i2.1893.
- [12] I. Hapsari And H. Amaruddin, "Pengembangan Media Komik Strip Untuk Pemahaman Membaca Intensif Siswa Kelas Iii Mi," *Jurnal Membaca (Bahasa Dan Sastra Indonesia)*, Vol. 9, No. 2, Pp. 125–132, 2024, Doi: 10.30870/Jmbisi.V9i2.28565.
- [13] Agus Rustamana, Khansa Hasna Sahl, Delia Ardianti, And Ahmad Hisyam Syauqi Solihin, "Penelitian Dan Pengembangan (Research & Development) Dalam Pendidikan," *Jurnal Bima: Pusat Publikasi Ilmu Pendidikan Bahasa Dan Sastra*, Vol. 2, No. 3, Pp. 60–69, 2024, Doi: 10.61132/Bima.V2i3.1014.
- [14] Okpatrioka, "Research And Development (R&D) Penelitian Yang Inovatif Dalam Pendidikan," *Dharma Acariya Nusantara: Jurnal Pendidikan, Bahasa Dan Budaya*, Vol. 1, No. 1, Pp. 86–100, 2023, [Online]. Available: <https://e-journal.nalanda.ac.id/index.php/jdan/article/view/154>

- [15] M. Waruwu, “Metode Penelitian Dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan Dan Kelebihan,” *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, Vol. 9, No. 2, Pp. 1220–1230, 2024, Doi: 10.29303/Jipp.V9i2.2141.