

# Sistem Pengawasan Perilaku Pengemudi Berbasis IoT Dengan Pemanfaatan LiDAR dan GPS Untuk Meningkatkan Keselamatan Berkendara

Helmi Wibowo<sup>1\*</sup>, Faza Asfarin Ajrun Adhim<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan

<sup>1,2</sup>Jln. Perintis Kemerdekaan No.17 Tegal Timur, Kota Tegal, 52125, Indonesia

E-mail: helmi.wibowo@pktj.ac.id<sup>1</sup>, 21021038@taruna.pktj.ac.id<sup>2</sup>

---

## Info Naskah:

Naskah masuk: 18 Juni 2025

Direvisi: 14 Juli 2025

Diterima: 25 Juli 2025

---

## Abstrak

Pada tahun 2022 terjadi 139.258 kasus kecelakaan lalu lintas, yang mencakup seluruh jenis kecelakaan baik ringan maupun fatal. Tingginya angka kecelakaan ini, terutama akibat pelanggaran kecepatan dan jarak aman mendorong perlunya sistem yang mampu memantau dan mengintervensi perilaku pengemudi secara otomatis. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kontrol dan pemantauan berbasis IoT yang tidak hanya mendeteksi pelanggaran seperti *overspeed* dan jarak terlalu dekat, tetapi juga mampu memberikan intervensi langsung terhadap laju kendaraan. Sistem ini menggunakan Arduino Mega dan ESP32 dengan sensor GPS dan LiDAR, serta output DAC untuk membatasi tegangan pedal akselerator saat pelanggaran berulang terdeteksi. Pengujian dilakukan untuk menilai akurasi sensor, performa IoT, dan efektivitas intervensi kecepatan. Hasil menunjukkan tingkat keberhasilan 100% dari 5 kali pengujian pada intervensi kecepatan, akurasi sensor yang baik, serta notifikasi IoT yang berhasil terkirim dalam waktu rata-rata 5,9 detik. Sistem terbukti efektif dan layak diterapkan sebagai solusi peningkatan keselamatan berkendara berbasis teknologi.

---

## Keywords:

IoT monitoring system;  
speed intervention;  
LiDAR;  
driving violation,  
driving safety.

---

## Abstract

In 2022, a total of 139,258 traffic accidents occurred in Indonesia, encompassing all types of incidents, from minor to fatal. The high number of accidents, particularly those caused by speeding and unsafe following distances, highlights the need for a system capable of automatically monitoring and intervening in driver behavior. This study aims to develop an IoT-based control and monitoring system that not only detects violations such as overspeeding and insufficient following distance but also provides direct intervention in vehicle speed. The system utilizes an Arduino Mega and ESP32, equipped with GPS and LiDAR sensors, along with a DAC output to limit the accelerator pedal voltage when repeated violations are detected. Testing was conducted to evaluate sensor accuracy, IoT performance, and the effectiveness of speed intervention. The results showed a 100% success rate in five speed intervention tests, good sensor accuracy, and IoT notifications successfully delivered with an average delay of 5.9 seconds. The system proved to be effective and feasible as a technology-based solution to enhance driving safety.

---

\*Penulis korespondensi:

Helmi Wibowo

E-mail: helmi.wibowo@pktj.ac.id

---

## 1. Pendahuluan

Kecelakaan lalu lintas menjadi masalah serius di Indonesia, kecelakaan lalu lintas merupakan salah satu penyebab utama kematian [1], [2]. Kecelakaan lalu lintas umumnya disebabkan oleh 3 faktor, yaitu faktor manusia, faktor kendaraan, serta faktor lingkungan [3]. Salah satu penyebab utama kecelakaan lalu lintas adalah kecepatan kendaraan yang melebihi batas yang ditentukan [4]. Kendaraan yang melaju terlalu cepat memiliki waktu reaksi yang lebih singkat untuk menghindari bahaya, sehingga meningkatkan risiko kecelakaan fatal. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa peluang terjadinya kecelakaan meningkat secara signifikan saat kendaraan melaju di atas 90 km/jam [5].

Selain kecepatan, menjaga jarak aman antar kendaraan juga menjadi faktor penting dalam keselamatan berkendara [6]. Jarak aman memberikan ruang bagi pengemudi untuk merespons situasi darurat seperti pengereman mendadak atau hambatan di jalan. Sayangnya, masih banyak pengemudi yang mengabaikan aturan ini, padahal kewajiban menjaga jarak telah diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 43 Tahun 1993 [7]. Ketidaktepatan terhadap aspek kecepatan dan jarak aman ini berkontribusi besar terhadap tingginya angka kecelakaan lalu lintas di Indonesia [8], [9].

Penelitian terdahulu oleh Widiasaputra et. Al (2022) yang berjudul *Development of a Safe Driving Distance Detection Lidar System* telah mengembangkan sistem pendeteksi jarak aman antar kendaraan berbasis sensor LiDAR (*Light Detection and Ranging*) yang mempertimbangkan parameter kecepatan dan jarak dalam menentukan batas aman berkendara. Sistem tersebut dirancang untuk memberikan peringatan kepada pengemudi apabila kendaraan melaju terlalu dekat dengan kendaraan di depannya [10]. Namun, keterbatasan utama dari sistem tersebut terletak pada fungsinya yang hanya bersifat pasif, yaitu sekadar melakukan pemantauan (*monitoring*) dan memberikan peringatan tanpa disertai kemampuan untuk mengambil tindakan aktif dalam merespons pelanggaran. Dengan kata lain, sistem tersebut belum mampu melakukan intervensi langsung terhadap kendaraan untuk mencegah terjadinya kecelakaan ketika pelanggaran terus berulang. Keterbatasan tersebut menunjukkan kelemahan sistem yang hanya berfungsi sebagai deteksi potensi bahaya tanpa disertai kemampuan intervensi aktif untuk mencegah kecelakaan. *Research gap* yang muncul dari kondisi ini adalah belum adanya sistem yang mampu menggabungkan deteksi perilaku berisiko secara *real-time* dengan mekanisme intervensi aktif terhadap laju kendaraan. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang tidak hanya mendeteksi perilaku berisiko, tetapi juga mampu memberikan respons langsung berupa intervensi terhadap kecepatan kendaraan untuk mencegah kecelakaan yang lebih fatal.

Penelitian lain yang relevan dilakukan oleh Avicenna et al. (2021), mengembangkan sistem monitoring dan pengamanan kendaraan berbasis IoT dengan memanfaatkan Arduino, NodeMCU, serta platform Blynk. Sistem ini memberikan peringatan kepada pengguna jika indikator kendaraan seperti bahan bakar berada di bawah batas aman. Namun, sistem tersebut lebih berfokus pada aspek kondisi kendaraan, bukan pada perilaku pengemudi [11]. Selain itu,

Miftahol Arifin et al. (2023) mengembangkan sistem pemantauan kelelahan pengemudi berbasis IoT yang menggunakan sensor ECG dan akselerometer. Sistem ini memberikan peringatan real-time jika terdeteksi kelelahan pada pengemudi. Namun, sistem tersebut difokuskan pada aspek fisiologis pengemudi dan belum mencakup perilaku berkendara secara menyeluruh. [12]

Dibandingkan kedua penelitian tersebut, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki keunggulan karena tidak hanya mendeteksi pelanggaran seperti *overspeeding*, zigzag, dan jarak terlalu dekat, tetapi juga melakukan intervensi aktif dengan mengurangi sinyal akselerasi kendaraan apabila pelanggaran dilakukan secara berulang. Untuk mewujudkan sistem yang mampu mendeteksi sekaligus mengintervensi perilaku pengemudi secara real-time, diperlukan teknologi yang dapat mengintegrasikan berbagai sensor dan perangkat secara cerdas. Internet of Things (IoT) memungkinkan integrasi antara berbagai perangkat dan teknologi digital, sehingga sistem elektronik dalam kendaraan dapat berfungsi secara lebih cerdas dan responsif. Teknologi ini berperan penting dalam mendukung otomatisasi dan efisiensi, termasuk dalam upaya memantau serta mengendalikan perilaku pengemudi secara real-time. [13]

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kontrol dan pemantauan perilaku pengemudi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang tidak hanya memberikan peringatan visual dan *auditori* melalui LCD dan buzzer, serta notifikasi ke Telegram, tetapi juga mampu melakukan intervensi aktif terhadap kendaraan melalui pengurangan sinyal akselerasi apabila terdeteksi pelanggaran yang berulang. Dengan pendekatan ini, sistem diharapkan dapat menjadi solusi teknologi yang lebih komprehensif dalam meningkatkan keselamatan berkendara.

## 2. Metode

Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan sistem kontrol dan pemantauan perilaku pengemudi berbasis IoT yang mampu mendeteksi pelanggaran kecepatan, jarak aman, serta pola berkendara zigzag. Sistem ini dirancang tidak hanya untuk memberikan peringatan kepada pengemudi, tetapi juga dapat melakukan intervensi terhadap kecepatan kendaraan berdasarkan tingkat pelanggaran yang terjadi. Proses pengembangan dilakukan melalui tahapan perancangan sistem yang meliputi pembuatan *flowchart*, perancangan perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), serta pengujian sistem secara menyeluruh.

Sistem terdiri dari dua mikrokontroler utama, yaitu Arduino Mega sebagai pengolah utama pembacaan data sensor dan ESP32 sebagai pengirim data ke server melalui koneksi WiFi. Sensor yang digunakan antara lain adalah sensor GPS BN-220 untuk mengukur kecepatan dan lokasi kendaraan, serta sensor TF-Luna LiDAR untuk mendeteksi jarak aman antar kendaraan. Data dari sensor dikirim ke Arduino Mega untuk dianalisis, kemudian dikomunikasikan ke ESP32 melalui UART.

ESP32 digunakan untuk mengirimkan data ke aplikasi Telegram sebagai media peringatan berbasis IoT, sehingga pengawas atau pengguna dapat memantau pelanggaran secara *real-time*. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan

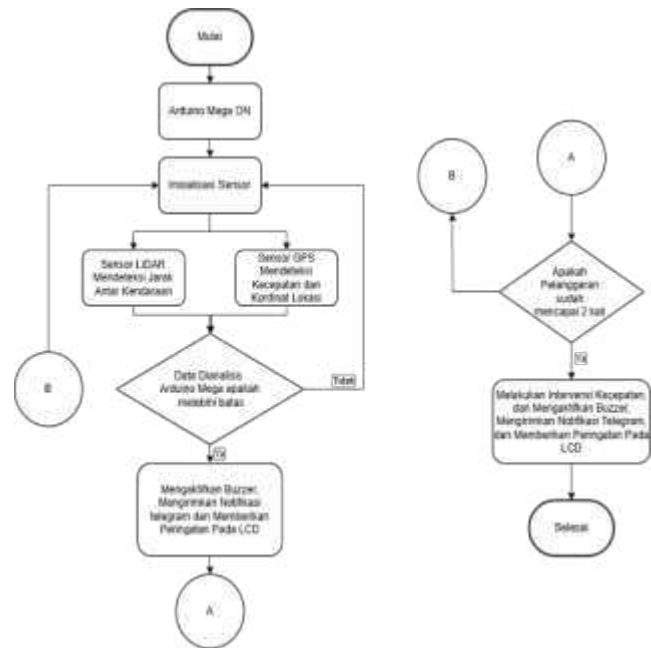
buzzer dan LCD I2C sebagai indikator lokal di kendaraan. Untuk pelanggaran yang terjadi secara berulang, sistem akan melakukan intervensi berupa penurunan kecepatan melalui penurunan tegangan output *accelerator pedal position sensor*. Seluruh data pelanggaran dan status sistem ditampilkan melalui LCD serta dikirimkan melalui notifikasi Telegram.

Pengujian dilakukan dengan melibatkan serangkaian percobaan langsung di lapangan maupun secara simulatif, yang dirancang untuk mengevaluasi akurasi sensor, keandalan pengiriman data melalui IoT, serta efektivitas sistem dalam mendeteksi dan merespons pelanggaran perilaku pengemudi secara *real-time*.

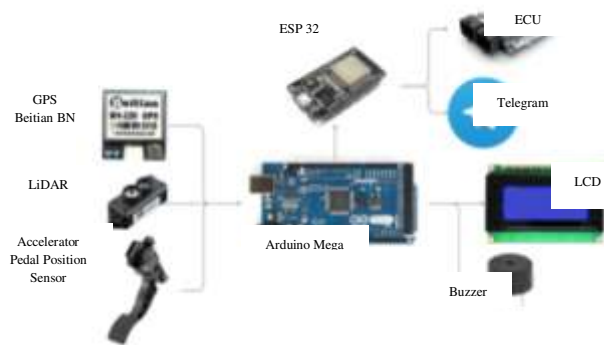
Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi akurasi sensor, keandalan pengiriman data melalui IoT, serta efektivitas sistem dalam mendeteksi dan merespons pelanggaran perilaku pengemudi secara *real-time*. Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi, seperti laser meter dan penggaris untuk LiDAR, inclinometer untuk MPU6050, dan aplikasi Google Maps untuk modul GPS (*Global Positioning System*), dengan pengukuran berulang untuk memperoleh rata-rata error. Keandalan IoT diuji melalui pengiriman notifikasi Telegram dalam berbagai skenario pelanggaran untuk menilai latensi, keutuhan pesan, dan kestabilan koneksi. Sistem juga diuji dengan mensimulasikan pelanggaran seperti zigzag, overspeed, dan jarak terlalu dekat untuk memastikan deteksi dan respons berupa aktivasi buzzer, tampilan LCD, notifikasi, serta intervensi kecepatan melalui sinyal DAC pada ESP32. Seluruh komponen kemudian diuji secara terintegrasi untuk memastikan sistem bekerja secara menyeluruh dan responsif dalam meningkatkan keselamatan berkendara.

### 2.1 Perancangan Sistem

Berdasarkan Gambar 1, cara kerja sistem dimulai dengan menyalakan Arduino Mega dan melakukan inialisasi pin I/O serta komunikasi serial UART dan I2C untuk setiap sensor. Setelah inialisasi berhasil, sensor GPS akan membaca kecepatan dan koordinat lokasi kendaraan, sedangkan sensor LiDAR membaca jarak antar kendaraan. Data dari masing-masing sensor kemudian diolah oleh Arduino Mega untuk dianalisis apakah melebihi batas kecepatan atau jarak aman yang telah ditentukan. Jika terdeteksi melebihi batas kecepatan dan jarak aman, maka sistem akan mengaktifkan buzzer, menampilkan peringatan pada LCD, dan mengirimkan notifikasi melalui aplikasi Telegram menggunakan koneksi WiFi. Jika pelanggaran terjadi sebanyak dua kali, sistem akan melakukan intervensi terhadap kecepatan kendaraan agar laju kendaraan kembali aman sesuai batas yang ditentukan.



Gambar 1. Flowchart Cara Kerja Sistem

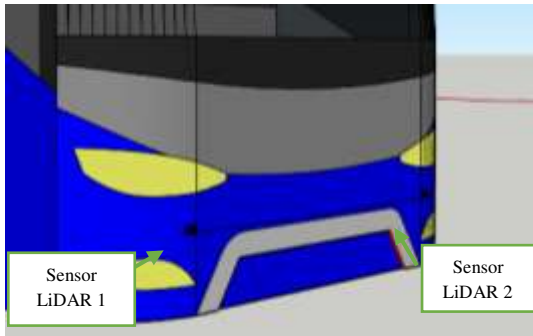


Gambar 2. Diagram Blok Sistem

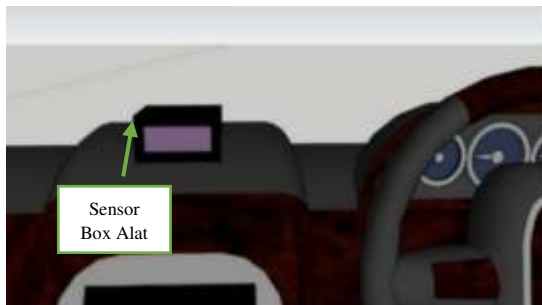
Pada blok diagram seperti ditunjukkan pada Gambar 2, sistem menerima input dari beberapa sensor, yaitu sensor GPS Beitian BN-220 untuk mengukur kecepatan dan lokasi kendaraan, sensor LiDAR untuk mendeteksi jarak antar kendaraan, serta *Accelerator Pedal Position Sensor* (APPS) untuk membaca tingkat tekanan pedal gas. Data dari sensor-sensor tersebut diolah oleh mikrokontroler Arduino Mega2560, yang kemudian menampilkan informasi pada LCD dan mengaktifkan buzzer jika terjadi pelanggaran. Data juga dikirim ke ESP32 untuk diteruskan sebagai notifikasi melalui Telegram. Apabila pelanggaran terdeteksi secara berulang, sistem akan mengirimkan output kontrol ke ECU untuk melakukan intervensi kecepatan kendaraan.

### 2.2 Perancangan Mekanik

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa Sensor LiDAR 1 dan Sensor LiDAR 2 diletakkan pada sisi kiri dan kanan bagian depan kendaraan. Peletakan ini bertujuan untuk memungkinkan sistem mendeteksi jarak kendaraan dari kedua sisi secara optimal.



Gambar 3. Peletakan Sensor LiDAR



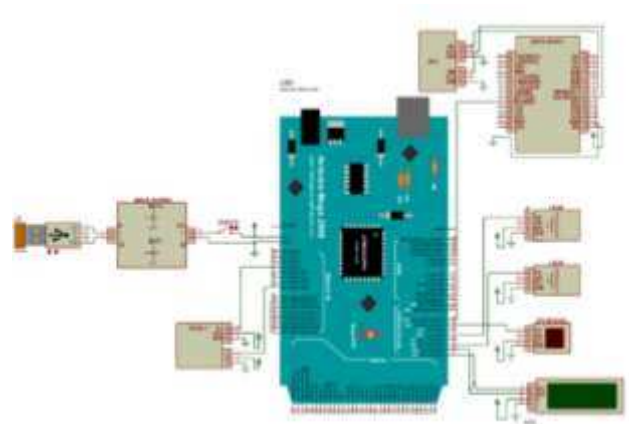
Gambar 4. Peletakan Alat Pada Dashboard Kendaraan

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa box alat ditempatkan di bagian tengah dashboard kendaraan. Posisi ini dipilih agar alat mudah terlihat dan dijangkau oleh pengemudi, serta memudahkan proses pemantauan dan pengoperasian sistem.

### 2.3 Perancangan Elektrik

Perancangan elektrik pada sistem ini dilakukan menggunakan *software* Proteus untuk menyusun dan mensimulasikan rangkaian sebelum direalisasikan secara fisik. Penggunaan Proteus memungkinkan proses perancangan dilakukan secara lebih aman, efisien, dan interaktif, serta membantu memastikan bahwa semua koneksi antar komponen telah sesuai. Proteus juga dapat mensimulasikan perilaku mikrokontroler dan berbagai sensor secara *real-time*, sehingga memudahkan proses *debugging* dan pengujian logika sistem. Penggunaan laboratorium virtual seperti Proteus terbukti dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran dan penguasaan konsep dalam praktik elektronika dasar [14].

Gambar 5 menunjukkan skema rangkaian elektronik yang dirancang dengan Arduino Mega 2560 sebagai pusat kendali utama. Sensor GPS digunakan untuk membaca kecepatan dan lokasi kendaraan, sedangkan sensor LiDAR mendeteksi jarak antar kendaraan. Sensor pedal akselerator digunakan untuk memantau posisi pedal gas sebagai dasar logika intervensi. Data dari sensor diproses oleh Arduino dan ditampilkan melalui LCD I2C, serta direspons melalui buzzer dan LED indikator jika terjadi pelanggaran.



Gambar 5 Perancangan Elektrik

Modul ESP32 digunakan untuk mengirimkan notifikasi ke Telegram melalui jaringan WiFi. Selain itu, terdapat output DAC yang menghasilkan sinyal analog ke ECU [15] [16]. Kemudian nantinya output DAC akan digunakan untuk melakukan intervensi terhadap kecepatan kendaraan jika pelanggaran terjadi secara berulang. Perancangan ini disusun dalam skema elektrik melalui Proteus sebelum dirakit secara fisik untuk memastikan hubungan antar komponen.

### 2.4 Ambang Batas Kecepatan dan Jarak Aman

Untuk mendeteksi pelanggaran secara objektif, sistem ini menggunakan nilai ambang berdasarkan regulasi nasional sebagai acuan, yaitu:

#### 1) Ambang Batas Kecepatan

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 111 Tahun 2015[17] tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan Kendaraan, batas kecepatan maksimum ditetapkan sebagai berikut:

- Jalan bebas hambatan: 60–100 km/jam
- Jalan antarkota: maksimal 80 km/jam
- Kawasan perkotaan: maksimal 50 km/jam
- Kawasan permukiman: maksimal 30 km/jam

Dalam penelitian ini, karena sistem dirancang untuk diterapkan pada kendaraan bus antarkota, maka batas kecepatan ambang yang digunakan adalah sebesar 80 km/jam. Kecepatan kendaraan dihitung berdasarkan data dari GPS BN-220, dan sistem akan memberikan peringatan dan intervensi apabila nilai kecepatan melebihi ambang ini.

#### 2) Ambang Jarak Aman Antar Kendaraan

Penetapan ambang jarak aman dalam sistem ini mengacu pada standar dari Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. Standar tersebut menetapkan jarak minimal dan jarak aman yang direkomendasikan berdasarkan kecepatan kendaraan, sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut:

Kecepatan	Jarak Minimal	Jarak Aman
30 km / jam	15 meter	30 meter
40 km / jam	20 meter	40 meter
50 km / jam	25 meter	50 meter
60 km / jam	40 meter	60 meter
70 km / jam	50 meter	70 meter
80 km / jam	60 meter	80 meter
90 km / jam	70 meter	90 meter
100 km / jam	80 meter	100 meter

Gambar 6. Ambang Batas Jarak Aman

Pada gambar 6 dapat dilihat ambang batas jarak aman antar kendaraan. Dengan demikian, sistem akan mendeteksi pelanggaran jarak aman apabila hasil pengukuran sensor LiDAR menunjukkan nilai di bawah standar jarak aman sesuai tabel di atas. Sistem akan mencocokkan kecepatan kendaraan secara *real-time* dan menentukan jarak aman yang sesuai untuk memastikan keselamatan berkendara secara dinamis. Hal ini memungkinkan sistem beradaptasi terhadap berbagai kondisi kecepatan kendaraan di jalan raya.

## 2.5 Perakitan Alat

Perakitan alat dilakukan setelah seluruh komponen elektronik dan mekanik selesai dirancang. Arduino Mega berperan sebagai pusat pemrosesan, dihubungkan dengan sensor GPS, sensor LiDAR, dan sensor pedal akselerator melalui koneksi kabel jumper. ESP32 dikoneksikan ke Arduino melalui komunikasi serial UART [18], yang berfungsi mengirimkan data pelanggaran ke Telegram. Output *Digital Analog Converter* (DAC) dari ESP32 digunakan untuk mengatur sinyal analog yang terhubung ke simulasi ECU atau sistem intervensi kecepatan.



Gambar 7. Perakitan Alat

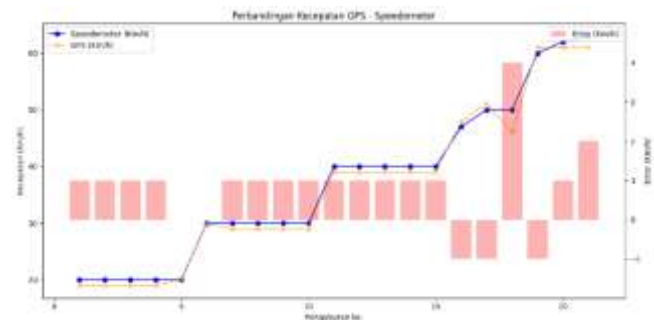
Pada gambar 7 Semua komponen dirangkai menggunakan *extension board* pada Arduino Mega, kemudian ditempatkan dalam box alat yang diletakkan pada bagian tengah *dashboard* kendaraan untuk memudahkan pemantauan dan akses. Sistem diberi catu daya utama dari sumber 5V pada sistem kelistrikan kendaraan, yang langsung disambungkan ke rangkaian. Untuk menjaga kestabilan daya saat kendaraan dimatikan atau dalam kondisi tidak stabil, sistem juga dilengkapi dengan baterai sebagai sumber daya alternatif.

## 3 Hasil dan Pembahasan

Setelah proses perancangan dan perakitan selesai, sistem diuji untuk memastikan seluruh fungsi berjalan sesuai dengan tujuan penelitian. Pengujian dilakukan terhadap masing-masing sensor, mekanisme deteksi pelanggaran, pengiriman notifikasi melalui IoT, serta respon sistem terhadap intervensi kecepatan. Hasil pengujian ini menjadi dasar untuk mengevaluasi kinerja dan keandalan sistem secara menyeluruh.

### 3.1 Pengujian Sensor Kecepatan

Pengujian sensor kecepatan dilakukan untuk mengevaluasi akurasi pembacaan data dari modul GPS BN-220 terhadap kecepatan kendaraan [19]. Pengujian dilakukan dengan menjalankan kendaraan pada lintasan lurus dengan kecepatan yang bervariasi, dimulai dari kecepatan rendah ( $\pm 10$  km/jam) hingga kecepatan menengah ( $\pm 60$  km/jam). Data kecepatan yang terbaca pada sensor ditampilkan secara *real-time* melalui LCD dan dicatat untuk dibandingkan dengan pembacaan kecepatan dari panel kendaraan (*speedometer*). Dilakukan sebanyak 21 pengujian, dan hasil pengujiannya dapat di lihat pada gambar dibawah.



Gambar 8. Pengujian Sensor Kecepatan

Pada Gambar 8 dapat dilihat hasil pengujian menunjukkan bahwa modul GPS mampu membaca kecepatan kendaraan dengan respons yang cukup stabil saat kendaraan melaju dengan kecepatan konstan. Terdapat sedikit fluktuasi data saat kendaraan dalam kondisi akselerasi atau deselerasi cepat, namun nilai rata-rata masih berada dalam batas toleransi. Selain itu, sensor juga dapat mendeteksi kecepatan secara bertahap seiring perubahan laju kendaraan. Data kecepatan ini kemudian digunakan sebagai parameter utama dalam mendeteksi pelanggaran batas kecepatan dan perhitungan jarak aman antar kendaraan.

### 3.2 Pengujian Sensor GPS

Pengujian sensor GPS dilakukan untuk mengevaluasi akurasi modul Beitian BN-220 dalam membaca koordinat lokasi kendaraan. Pengujian dilakukan pada posisi statis di area terbuka, dengan membandingkan hasil pembacaan modul GPS terhadap referensi koordinat yang diambil melalui aplikasi Google Maps. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali, dan untuk menilai akurasi posisi digunakan perhitungan jarak berdasarkan rumus *Haversine*, yang umum digunakan untuk menghitung jarak permukaan antara dua titik koordinat pada permukaan bumi [20] [21]. Data yang diperoleh kemudian dibandingkan untuk mengetahui deviasi lokasi dari setiap pengukuran. Hasil

pengujian ini menjadi dasar untuk menilai keandalan sensor dalam sistem pemantauan kendaraan berbasis IoT. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Pengujian Latitude

Pengukuran ke-	Latitude BN-220	Latitude Google Maps
1	-6.870707	-6.870717
2	-6.870725	-6.870728
3	-6.870706	-6.870676
4	-6.870751	-6.870763
5	-6.870753	-6.870756

Tabel 2. Pengujian Longitude

Pengukuran ke-	Longitude BN-220	Longitude Google Maps
1	109.143470	109.143473
2	109.143470	109.143455
3	109.143500	109.143500
4	109.143390	109.143497
5	109.143410	109.143454

Perhitungan jarak antara koordinat yang diperoleh dari modul GPS BN-220 dan koordinat referensi dari Google Maps dilakukan menggunakan rumus *Haversine*. Rumus ini digunakan untuk menghitung jarak antara dua titik pada permukaan bumi berdasarkan nilai lintang dan bujur, dan dinyatakan sebagai berikut:

$$d = 2r \cdot \sin^{-1} \left( \sqrt{\sin^2 \frac{\Delta\phi}{2} + \cos(\phi_1) \cdot \cos(\phi_2) \cdot \sin^2 \left( \frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right) \quad (1)$$

dengan:

- $d$  = jarak antara dua titik (meter)
- $r$  = jari-jari bumi (6.371.000 meter)
- $\phi$  = lintang (latitude)
- $\lambda$  (lambda) = bujur (longitude)
- $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$  = selisih lintang
- $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$  = selisih bujur

Hasil perhitungan menggunakan rumus di atas ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Selisih Jarak Hasil Perhitungan Haversine

Pengukuran ke-	Selisih Jarak (meter)
1	1.16
2	1.69
3	4.0
4	11.89
5	4.87
Rata Rata Selisih	4,72

Dari hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa sensor GPS BN-220 memiliki deviasi jarak posisi rata-rata sebesar 4,72 meter terhadap koordinat referensi. Nilai ini menunjukkan bahwa akurasi GPS cukup baik ketika digunakan di area terbuka tanpa hambatan. Namun, pada pengukuran ke-4 ditemukan deviasi hingga 11,89 meter, yang kemungkinan disebabkan oleh gangguan sinyal sesaat atau *delay* pembacaan oleh sensor.

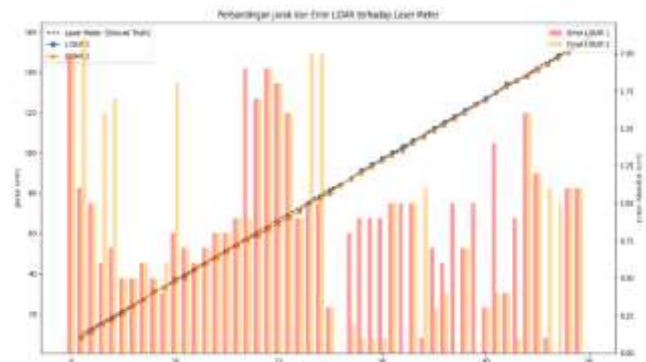
Hasil ini sejalan dengan temuan Abdi et al. (2014) yang menunjukkan bahwa perangkat GPS kelas konsumen dapat

memberikan akurasi horizontal rata-rata antara 4 hingga 36 meter, tergantung model perangkat, musim, dan kondisi lingkungan. Pada kondisi optimal (ruang terbuka tanpa tutupan daun), akurasi GPS dapat mencapai 4–5 meter, sedangkan pada kondisi dengan banyak dedaunan (*leaf-on*), akurasi menurun menjadi 9–12 meter. Dengan demikian, deviasi 4,72 meter yang diperoleh dari pengujian ini masih berada dalam kategori baik dan wajar untuk perangkat GPS kelas konsumen [22].

Secara umum, akurasi GPS BN-220 sudah memadai untuk digunakan dalam sistem monitoring kendaraan berbasis IoT, terutama untuk aplikasi yang tidak memerlukan presisi tinggi.

### 3.3 Pengujian Sensor Jarak

Pengujian sensor jarak dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dua sensor LiDAR (LiDAR 1 dan LiDAR 2) dalam mendeteksi perbedaan jarak terhadap acuan yang dianggap sebagai *ground truth*, yaitu Laser Meter [23]. Akurasi sensor dalam mendeteksi jarak sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap ketepatan sistem dalam menentukan jarak aktual antar kendaraan. Pada pengujian ini, dilakukan 50 kali pencatatan data jarak secara berurutan dari ketiga perangkat, yaitu Laser Meter, LiDAR 1, dan LiDAR 2. Selanjutnya, dilakukan analisis selisih atau error absolut antara nilai pengukuran LiDAR terhadap Laser Meter. Hasil dari pengukuran dan perbandingan error divisualisasikan dalam gambar 9.



Gambar 9. Pengujian Sensor Jarak

Grafik pengujian pada Gambar 9 menunjukkan hasil pembacaan jarak oleh dua sensor LiDAR (LiDAR 1 dan LiDAR 2) yang dibandingkan dengan pengukuran acuan menggunakan Laser Meter digital dan penggaris. Secara umum, kedua sensor LiDAR mampu mengikuti tren peningkatan jarak secara linier dari sekitar 10 cm hingga 157 cm. Grafik menggunakan sumbu X yang merepresentasikan urutan pengukuran dari ke-1 hingga ke-50, sementara sumbu Y sebelah kiri menunjukkan nilai jarak hasil pengukuran dalam satuan sentimeter (cm). Pada grafik tersebut, garis putus-putus hitam menggambarkan nilai acuan dari Laser Meter, sedangkan garis merah dan biru mewakili hasil pembacaan dari LiDAR 1 dan LiDAR 2. Selain itu, grafik juga menampilkan sumbu Y sekunder di sebelah kanan yang menunjukkan error absolut (selisih antara hasil pembacaan LiDAR dengan nilai acuan) dalam satuan cm, ditampilkan dalam bentuk batang berwarna merah muda untuk LiDAR 1 dan oranye untuk LiDAR 2.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pembacaan sensor relatif mendekati nilai acuan, meskipun terdapat selisih atau error pada beberapa titik, terutama pada rentang jarak menengah hingga jauh (di atas 80 cm). LiDAR 1 menunjukkan performa yang cukup stabil dengan error absolut berkisar antara 0 hingga 2 cm, sedangkan LiDAR 2 memiliki pola deviasi serupa namun cenderung sedikit lebih rendah dari acuan di beberapa pengukuran. Error ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti keterbatasan sensor dalam mengukur objek pada jarak tertentu, gangguan pantulan cahaya, sudut pengukuran, serta kondisi permukaan objek.

Meskipun demikian, nilai error dari kedua sensor masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, sehingga keduanya dianggap layak digunakan sebagai komponen pengukuran jarak dalam sistem pemantauan jarak aman antar kendaraan, dengan tingkat akurasi dan konsistensi yang memadai [24][25].

### 3.4 Pengujian IoT

Pengujian sistem IoT dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan alat dalam mengirimkan notifikasi pelanggaran melalui platform Telegram. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan pelanggaran dan mengamati apakah pesan terkirim dan berapa lama delay yang terjadi. Pada Tabel 4 ditampilkan hasil pengujian sistem IoT dalam mengirimkan notifikasi pelanggaran melalui Telegram.

Tabel 4. Pengujian *Internet of Things*

Pengujian ke-	Status (Ter kirim atau tidak)	Delay (Detik)
1.	Terkirim	7,8
2.	Terkirim	6,2
3.	Tidak	-
4.	Tidak	-
5.	Terkirim	3,8

Pada tabel 4 dapat dilihat dilakukan lima kali pengujian, sistem IoT berhasil mengirimkan notifikasi pelanggaran ke aplikasi Telegram sebanyak tiga kali, sementara dua kali pengiriman mengalami kegagalan akibat gangguan koneksi internet. Pengujian dilakukan menggunakan jaringan WiFi yang bersumber dari hotspot smartphone dengan provider Tri. Kegagalan pengiriman terjadi akibat hilangnya koneksi secara sesaat, yang teridentifikasi melalui indikator kekuatan sinyal pada modul ESP32.

Log pengujian dicatat secara manual dengan mengamati waktu respons notifikasi yang muncul di Telegram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan fungsi monitoring secara *real-time*, dengan rata-rata *delay* pengiriman sebesar 5,9 detik, yang masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima.

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem telah berfungsi dengan baik dalam kondisi jaringan tertentu. Namun demikian, kestabilan koneksi WiFi menjadi faktor krusial dalam menjaga keandalan sistem. Oleh karena itu, untuk meningkatkan performa dan mengurangi kemungkinan kegagalan pengiriman data, disarankan penggunaan jaringan yang lebih stabil, seperti WiFi tetap (*fixed wireless*) atau integrasi dengan modul GSM sebagai alternatif konektivitas.

### 3.5 Pengujian Intervensi Kecepatan

Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah sistem dapat memberikan respon intervensi kecepatan setelah mendeteksi pelanggaran berulang seperti jarak terlalu dekat dan overspeed. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel berikut. Pengujian dilakukan lima kali dengan skenario pelanggaran yang sama untuk mengevaluasi konsistensi sistem dalam merespons. Respon intervensi berhasil jika sistem menurunkan sinyal kecepatan kendaraan otomatis setelah pelanggaran terdeteksi.

Pengujian sistem intervensi kecepatan kendaraan dilakukan dengan membatasi sinyal tegangan ke *Accelerator Pedal Position Sensor* (APPS) sebesar 50% dari nilai maksimum menggunakan output DAC pada mikrokontroler ESP32, berdasarkan deteksi pelanggaran berulang oleh Arduino Mega. Saat pelanggaran terdeteksi lebih dari dua kali, tegangan output APP otomatis dikurangi dari 0–5V menjadi 0–2,5V, sehingga akselerasi dan kecepatan kendaraan menurun signifikan.

Tabel 5. Pengujian Intervensi Kecepatan

Pengujian ke-	Intervensi kecepatan berhasil (Ya/Tidak)
1.	Ya
2.	Ya
3.	Ya
4.	Ya
5.	Ya

Pada tabel 5 dapat dilihat hasil pengujian intervensi kecepatan. Dari lima pengujian, sistem berhasil melakukan intervensi dengan tingkat keberhasilan 100%, menunjukkan komunikasi antar mikrokontroler dan algoritma pembatasan tegangan berjalan efektif. Meski demikian, implementasi pada kendaraan nyata memerlukan evaluasi lebih lanjut terkait respons, keamanan elektronik, dan kemungkinan intervensi manual oleh pengemudi.

## 4 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem kontrol dan pemantauan perilaku pengemudi berbasis IoT yang mampu mendeteksi pelanggaran seperti overspeed dan jarak aman, serta memberikan peringatan melalui buzzer, tampilan LCD, dan notifikasi Telegram secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor GPS dan LiDAR yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk mendeteksi parameter pelanggaran. Selain itu, fitur intervensi kecepatan melalui pembatasan tegangan pada pedal akselerator berhasil dijalankan dengan tingkat keberhasilan 100% dalam lima kali pengujian, menandakan komunikasi antar mikrokontroler berjalan baik dan logika kontrol berfungsi sesuai desain. Sistem ini menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan keselamatan berkendara melalui deteksi dan respon otomatis terhadap perilaku berisiko. Untuk implementasi di lapangan, disarankan peningkatan stabilitas jaringan dengan menggunakan koneksi alternatif seperti modul GSM, serta evaluasi lanjutan terhadap aspek keamanan, kenyamanan pengemudi, dan respon sistem terhadap berbagai kondisi jalan nyata.

## Daftar Pustaka

- [1] N. Susanti, C. T. D E Angkat, D. Afriza Pohan, M. Nasution, and F. Kesehatan Masyarakat Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, "ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG BERTHUBUNGAN DENGAN RESIKO KECELAKAAN LALU LINTAS," vol. 5, no. 2, 2024.
- [2] Y. Fitriah, T. A. Zahra, Y. D. Sartika, S. P. S. Panggabean, G. H. Kristiyanto, and J. Riskiyono, "STRATEGI PENCEGAHAN KECELAKAAN LALULINTAS BERDASARKAN UNDANG-UNDANG NOMOR 22 TAHUN 2009 TENTANG LALU LINTAS DAN ANGKUTAN JALAN," *Abdi Laksana : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 5, no. 2, pp. 523–531, 2024.
- [3] A. W. Hidayat, S. Rejeki, L. Utami, K. Kunci, : Kecelakaan, and L. Lintas, "ANALISIS PENYEBAB KECELAKAAN LALU LINTAS DI KOTA SEMARANG," 2020.
- [4] X. Yan, J. Wang, and J. Wu, "Effect of in-vehicle audio warning system on driver's speed control performance in transition zones from rural areas to urban areas," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 13, no. 7, Jul. 2016, doi: 10.3390/ijerph13070634.
- [5] D. Prasetyanto and W. Santosa, "HUBUNGAN PERUBAHAN KECEPATAN KENDARAAN DENGAN JUMLAH KORBAN KECELAKAAN LALULINTAS," *Jurnal Transportasi*, vol. 11, no. 2, pp. 95–102, 2011.
- [6] R. Jurecki and M. Poliak, "THE IMPACT OF THE SAFE FOLLOWING DISTANCE ONTO THE TRAFFIC SAFETY," *Communications - Scientific Letters of the University of Žilina*, vol. 26, no. 1, pp. A37–A49, 2024, doi: 10.26552/com.C.2024.014.
- [7] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah No. 43*. 1993.
- [8] Y. Yao, O. Carsten, and D. Hibberd, "A close examination of speed limit credibility and compliance on UK roads," *IATSS Research*, vol. 44, no. 1, pp. 17–29, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.iatssr.2019.05.003.
- [9] K. N. S. Ayuningtyas, A. Kusumawati, and E. Ellizar, "PERBANDINGAN PERILAKU KECEPATAN BERLEBIH PENGEMUDI MOBIL DAN SEPEDA MOTOR Studi Kasus: Provinsi Jawa Barat, Indonesia (The Comparison of Exceeding Speed Behavior Between Car Drivers and Motorcyclists Case of Study: West Java Province, Indonesia)."
- [10] P. Mahastra Widiasaputra, K. Arta Bawa, P. E. Suartawan, D. Fitriani, M. Aryuni, and O. R. R. Sasue, "Development of a Safe Driving Distance Detection Lidar System," *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, vol. 6, no. 2, pp. 190–199, 2022.
- [11] M. U. Avicenna, "PROTOTIPE MONITORING KENDARAAN BERBASIS IOT DENGAN APLIKASI BLYNK," 2021.
- [12] Miftahol Arifin, Dimas Fanny Hebrasianto Permadi Kasanah, Pradana Ananda Raharja, Nabila Noor Qisthani, Fikra Titan Syifa, and Faizah Faizah, "Perancangan Sistem Pemantauan Kelelahan Driver Berbasis IoT (Internet Of Things) Yang Adaptif Untuk Transportasi Makanan Segar," *Jurnal Kendali Teknik dan Sains*, vol. 1, no. 4, pp. 158–171, Oct. 2023, doi: 10.59581/jkts-widyakarya.v1i4.2959.
- [13] 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, Jul. 2023, doi: 10.35970/infotekmesin.v14i2.1893.
- [14] B. D. Waluyo, S. Bintang, S. Januariyansah, and R. Artikel, "THE EFFECT OF USING PROTEUS SOFTWARE AS A VIRTUAL LABORATORY ON STUDENT LEARNING OUTCOMES," *Paedagoria : Jurnal Kajian, Penelitian dan Pengembangan Kependidikan*, vol. 12, no. 1, pp. 140–145, 2021, doi: 10.31764.
- [15] I. M. A. Pramuditya, I. G. A. P. R. Agung, and P. Rahardjo, "RANCANG BANGUN ALAT UJI PERIFERAL ESP32 DEVKIT V1 - DOIT 30 PIN," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 10, no. 4, pp. 340–347, 2023.
- [16] V. K. Tran, B. T. Thai, H. Pham, V. K. Nguyen, and V. K. Nguyen, "A Proposed Approach to Utilizing Esp32 Microcontroller for Data Acquisition," *Journal of Engineering and Technological Sciences*, vol. 56, no. 4, pp. 474–488, Aug. 2024, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2024.56.4.4.
- [17] Republik Indonesia, *PERATURAN MENTERI PERHUBUNGAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR 111*. 2015.
- [18] S. P. A. Nugraha, L. Sunuharjo, and M. Atiq, "Komunikasi Arduino I2C, SPI dan UART," *Jurnal Sains dan Teknologi Informasi*, vol. 2, no. 4, pp. 80–85, 2024, doi: 10.62951/switch.v2i4.18.
- [19] M. Y. Artato, M. Khosyi'in, and M. Ismail, "Pengukuran Kecepatan Menggunakan Sensor GNSS," *Jurnal Transistor Elektro dan Informatika (TRANSISTOR EI)*, vol. 4, no. 3, pp. 218–225, 2022.
- [20] M. Zhafira and J. Sardi, "Implementation of Internet of Things (IoT) In Heart Rate Measurement Tool," *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 5, no. 1, pp. 99–110, 2024.
- [21] A. Budiyanto and A. J. P. Mardana, "Prototipe Sistem Deteksi Jantung Manusia dan Lokasi Berbasis Internet of Things (IoT)," *AVITEC*, vol. 3, no. 1, pp. 83–98, Feb. 2021, doi: 10.28989/avitec.v3i1.914.
- [22] E. Abdi, H. S. Mariv, A. Deljouei, and H. Sohrabi, "Accuracy and precision of consumer-grade GPS positioning in an urban green space environment," *Forest Sci Technol*, vol. 10, no. 3, pp. 141–147, 2014, doi: 10.1080/21580103.2014.887041.
- [23] F. Nur Aziz and M. Zakarijah, "Analisis Kinerja Sensor TF-Mini LiDAR untuk Pengukuran Jarak," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 11, no. 3, pp. 192–198, 2022.
- [24] T. H. Kim and T. H. Park, "Placement Optimization of Multiple Lidar Sensors for Autonomous Vehicles," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 21, no. 5, pp. 2139–2145, May 2020, doi: 10.1109/TITS.2019.2915087.
- [25] P. Jarak dengan Pendekatan Simulasi *et al.*, "Analisis Kinerja Sistem LiDAR (Light Detection and Ranging) dalam Analysis of LiDAR (Light Detection and Ranging) System Performance in Distance Measurement using Simulation Approach: Evaluation of Measurement Accuracy and Reliability," *Jurnal Kolaboratif Sains*, vol. 7, no. 5, pp. 1569–1576, 2024, doi: 10.56338/jks.v7i5.5250.