pISSN : 0852-0232, eISSN : 2656-582X DOI : 10.14710/gt.v21i3.xxxxx

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KECEPATAN DAN JUMLAH KENDARAAN DI JALAN LINGKUNGAN BERBASIS SENSOR PHOTO BEAM

Muhammad Irvan Aditya Andreawan[(1),] Dista Yoel Tadeus[(2).]
[1)]Program Studi Str. Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
*)E-mail : *distayoel@gmail.com*

ABSTRACT

Neighborhood roads are a form of transportation infrastructure frequently used by residents in residential areas; however, limitations in the monitoring system make it difficult to accurately track vehicle speed and traffic volume, potentially leading to accidents caused by vehicles exceeding the posted speed limit. Therefore, this study aims to design and build a prototype system for monitoring vehicle speed and count using an IoT-based photo beam sensor. The system is designed using a photo beam sensor to detect vehicle paths, an ESP32 as the main controller, an LCD for local monitoring, and a spreadsheet as a medium for remote data storage. The system is capable of calculating vehicle speed based on the time difference between two sensor points spaced 2.5 meters apart, distinguishing between vehicles entering and exiting, and categorizing vehicle speeds as either within the normal range or exceeding the limit, in accordance with Ministry of Transportation Regulation No. 111 of 2015. Test results show that the system operates in accordance with its design logic, demonstrating good accuracy in detecting speed and counting vehicles based on tests conducted on 500 vehicle data points. Additionally, the feature for automatic, real-time data recording in the spreadsheet functioned effectively, thereby facilitating traffic monitoring and evaluation. Based on these test results, the designed prototype successfully performed the functions of automatically monitoring, recording, and classifying vehicle speeds on local roads.

Keywords: *Monitoring System, Vehicle Speed, Number of Vehicles, Photo Beam Sensor, Neighborhood Roads, Descriptive Statistics*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia yang meluas hingga ke jalan lingkungan atau pemukiman telah meningkatkan risiko kecelakaan lalu lintas. Karakteristik jalan pemukiman yang sempit, visibilitas rendah, serta minimnya rambu lalu lintas menjadikannya area yang rawan, terutama karena tingginya interaksi kendaraan dengan pejalan kaki dan anak-anak[1]. Meskipun Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 111 Tahun 2015 telah menetapkan batas kecepatan maksimum 30 Km/h di kawasan pemukiman[2], implementasinya masih belum optimal akibat keterbatasan sistem pengawasan di lapangan. Data statistik tahun 2023 menunjukkan urgensi masalah ini dengan jumlah kecelakaan yang mencapai 148.643 kasus di seluruh Indonesia[3].

Berbagai penelitian telah berupaya mengembangkan sistem monitoring kecepatan kendaraan untuk mengatasi masalah ini. Fauzi dan Pratama (2021) merancang sistem pengukur kecepatan menggunakan sensor infrared berbasis mikrokontroler, namun sistem tersebut belum memiliki fitur penyimpanan data dan monitoring daring[4]. Darmawan dkk. (2020) telah mengimplementasikan teknologi Internet of Things (IoT) untuk monitoring kecepatan, namun penggunaan data GPS yang mereka terapkan kurang optimal untuk jalan sempit atau gang dengan jarak pendek[5]. Di sisi lain, Setiawan dan Putra (2020) membuktikan bahwa sensor photo beam memiliki respons cepat dan akurasi baik untuk deteksi objek di ruang terbatas, namun penelitiannya belum mencakup perhitungan kecepatan atau jumlah kendaraan[6]. Selain itu, Maulana dkk. (2022) menunjukkan efektivitas monitoring berbasis website secara real-time, meskipun sistemnya masih

bersifat umum dan belum difokuskan pada aplikasi lalu lintas secara spesifik[7].

Berdasarkan kajian tersebut, masih terdapat celah penelitian berupa belum terintegrasinya pengukuran kecepatan dan jumlah kendaraan dalam satu sistem yang dikhususkan untuk jalan lingkungan berskala lokal. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem monitoring kecepatan dan jumlah kendaraan berbasis sensor photo beam dan ESP32 yang terintegrasi dengan monitoring melalui website. Sistem ini dirancang untuk memberikan solusi pemantauan lalu lintas yang efektif, murah, dan real-time guna meningkatkan keselamatan operasional di area pemukiman.

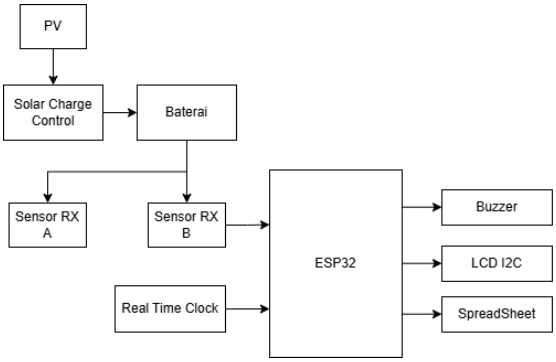
METODE PENELITIAN

1. Perancangan Sistem

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun yang meliputi tahap perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, implementasi sistem, dan pengujian kinerja. Sistem dirancang untuk memantau kecepatan dan jumlah kendaraan di jalan lingkungan secara *real-time* menggunakan sepasang sensor *photo beam*. Data deteksi dari sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 berdasarkan selisih waktu tempuh kendaraan yang melewati dua titik sensor dengan jarak tetap sebesar 2,5 meter. Hasil pengukuran kemudian ditampilkan pada LCD I2C 16x2 dan dikirimkan secara otomatis melalui jaringan Wi-Fi ke *database* Google Spreadsheet serta *website monitoring* untuk visualisasi data.

Sistem menghitung kecepatan kendaraan menggunakan rumus fisis $v = s/t$dan memiliki kemampuan untuk membedakan arah pergerakan kendaraan, baik yang masuk maupun keluar area pemukiman. Sebagai indikator deteksi, sistem dilengkapi dengan *buzzer* yang aktif sesaat ketika sensor terputus oleh objek. Pengujian kinerja sistem dilakukan melalui tahap kalibrasi untuk memastikan akurasi pembacaan, diikuti dengan pengambilan data terhadap 500 kendaraan yang melintas. Analisis data dilakukan secara statistik deskriptif dengan merujuk pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 111 Tahun 2015, di mana batas kecepatan maksimum di jalan lingkungan ditetapkan sebesar 30 Km/h.

2. Diagram Blok Sistem



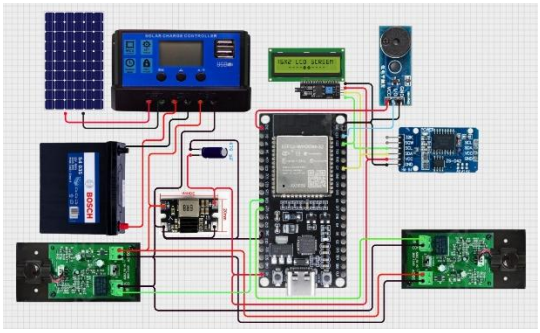
Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem terdiri dari panel surya (PV), Solar Charge Controller, dan baterai sebagai sumber daya; dua sensor photo beam (Sensor RX A dan RX B) serta Real Time Clock (RTC) sebagai input; dan ESP32 sebagai pusat pemrosesan, dengan LCD I2C, buzzer, dan spreadsheet sebagai output.

Panel surya berfungsi sebagai sumber energi utama yang dikonversi dan diatur oleh Solar Charge Controller untuk mengisi baterai, sehingga sistem tetap mendapat suplai daya secara kontinu termasuk pada malam hari. Sensor RX A dan RX B dipasang pada dua titik dengan jarak tetap 2,5 meter dan bekerja berdasarkan prinsip pemutusan sinar inframerah antara transmitter dan receiver. Ketika kendaraan melintas, kedua sensor mengirimkan sinyal ke ESP32 yang digunakan untuk menghitung selisih waktu, sehingga kecepatan dan arah pergerakan kendaraan (masuk atau keluar) dapat ditentukan. RTC menyediakan informasi waktu real-time untuk pencatatan waktu deteksi secara akurat.

ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler pusat yang memproses sinyal dari kedua sensor dan data waktu dari RTC untuk menghitung kecepatan kendaraan. Hasilnya ditampilkan pada LCD I2C, dikirim ke spreadsheet melalui internet untuk penyimpanan data, serta diteruskan ke buzzer sebagai indikator deteksi kendaraan.

3. Rangkaian Keseluruhan Sistem



Gambar 2. Rangkaian Keseluruhan Sistem

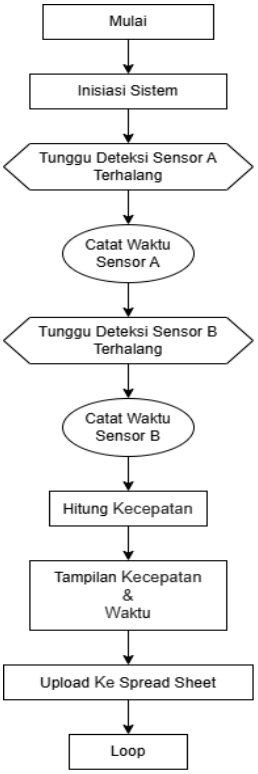
Sumber energi sistem berasal dari panel surya (PV) yang dihubungkan ke Solar Charge Controller untuk mengatur proses pengisian daya ke baterai 12V. Tegangan keluaran baterai kemudian diturunkan menggunakan buck converter menjadi 5 VDC untuk mensuplai ESP32, sensor, RTC, LCD, dan buzzer.

ESP32 berfungsi sebagai pusat pemrosesan yang terhubung dengan dua sensor photo beam (Sensor RX A dan Sensor RX B) melalui pin GPIO untuk mendeteksi kendaraan yang melintas pada dua titik dengan jarak tetap 2,5 meter. Selain itu, ESP32 juga terhubung dengan modul RTC melalui komunikasi I2C untuk memperoleh data waktu real-time, serta dengan LCD I2C untuk menampilkan hasil pengolahan data secara lokal, dan buzzer melalui pin GPIO sebagai indikator suara setiap kali kendaraan terdeteksi.

Untuk pengiriman data ke spreadsheet, ESP32 memanfaatkan koneksi internet melalui modul WiFi yang sudah terintegrasi pada board, sehingga data kecepatan dan waktu deteksi kendaraan dapat tersimpan secara otomatis dan dapat diakses untuk keperluan analisis maupun dokumentasi.

4. Flowchart Sistem

Flowchart sistem ditunjukkan pada Gambar 3. Proses diawali dengan inisialisasi seluruh perangkat, meliputi ESP32, sensor photo beam (Sensor RX A dan Sensor RX B), RTC, LCD, serta koneksi ke spreadsheet melalui jaringan internet. Setelah inisialisasi berhasil, ESP32 akan menunggu deteksi kendaraan yang melintas pada Sensor A dan Sensor B secara berkala.



Gambar 3. Flowchart Sistem

Setelah sistem menghitung kecepatan kendaraan berdasarkan selisih waktu antara Sensor A dan Sensor B serta jarak tetap 2,5 meter, hasil kecepatan beserta waktu deteksi dan arah pergerakan kendaraan (masuk atau keluar) ditampilkan pada LCD I2C secara real-time. Selanjutnya, data tersebut diunggah ke spreadsheet melalui koneksi internet untuk disimpan sebagai dokumentasi hasil monitoring. Proses ini berjalan secara berulang (*loop*) untuk setiap kendaraan yang melintas pada area pengukuran, sehingga sistem dapat mendeteksi dan mencatat data kecepatan kendaraan secara otomatis dan kontinu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian Kalibrasi Kecepatan Kendaraan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sistem dalam mengukur kecepatan kendaraan pada kondisi kecepatan referensi 10 km/h, 20 km/h, 30 km/h.

Tabel 1. Pengujian Akurasi Sistem pada Kecepatan 10 Km/h

Kalibrasi kecepatan 10km/h			
Date & Time	Arah	Kecepatan	Presentase Error
2026-05-21 9:57:04	Masuk	9.3 Km/h	0%
2026-05-21 9:57:16	Keluar	9.7 Km/h	0%
2026-05-21 9:57:23	Keluar	10.0 Km/h	0%
2026-05-21 9:57:25	Masuk	13.0 Km/h	0%
2026-05-21 9:57:27	Masuk	10.2 Km/h	0%
2026-05-21 9:57:34	Keluar	11.6 Km/h	0,85%
2026-05-21 9:57:39	Masuk	12.2 Km/h	0%
2026-05-21 9:57:41	Keluar	11.5 Km/h	0%
2026-05-21 9:59:01	Keluar	10.5 Km/h	0%
2026-05-21 9:59:24	Masuk	12.5 Km/h	0%

Tabel 2.Statistik Deskriptif Kalibrasi Kecepatan 10 Km/h

Statistik	Nilai
Rata-Rata	11,05 Km/h
Nilai Maksimum	12.5 Km/h
Nilai Minimum	9.3 Km/h
Standar Deviasi	1,28 Km/h
Rata-Rata Error	0,90%

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1 dan Tabel 2, sistem mampu mendeteksi kecepatan kendaraan dengan baik pada kecepatan referensi 10 km/h, dengan nilai kecepatan terukur berkisar antara 9,3 km/h hingga 12,5 km/h dan rata-rata sebesar 11,05 km/h. Standar deviasi sebesar 1,28 km/h menunjukkan tingkat variasi data yang relatif kecil, sedangkan rata-rata error sebesar 0,90% menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mendeteksi kecepatan kendaraan secara real-time, baik untuk arah masuk maupun keluar.

Tabel 3. Data Kalibrasi Pengujian Sistem pada Kecepatan 20 Km/h

Kalibrasi kecepatan 20km/h			
Date & Time	Arah	Kecepatan	Presentase Error
2026-05-21 9:59:32	Masuk	18.0 Km/h	0%
2026-05-21 10:00:11	Keluar	20.0 Km/h	0%
2026-05-21 10:00:55	Keluar	21.8 Km/h	0,91%
2026-05-21 10:01:04	Masuk	20.7 Km/h	0,96%
2026-05-21 10:01:31	Keluar	21.1 Km/h	0,96%
2026-05-21 10:01:36	Keluar	19.0 Km/h	0,52%
2026-05-21 10:01:52	Keluar	22.0 Km/h	0%
2026-05-21 10:01:56	Masuk	18.0 Km/h	0%
2026-05-21 10:02:02	Masuk	22.5 Km/h	0%
2026-05-21 10:02:08	Masuk	21.5 Km/h	0,47%

Tabel 4.Statistik Deskriptif Kalibrasi Kecepatan 20 Km/h

Statistik	Nilai
Rata-Rata	20,46 Km/h
Nilai Maksimum	22.5 Km/h
Nilai Minimum	18.0 Km/h
Standar Deviasi	1,64 Km/h
Rata Rata error	0,38%

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3 dan Tabel 4, sistem mampu mendeteksi kecepatan kendaraan dengan baik pada kecepatan referensi 20 km/h, dengan nilai kecepatan terukur berkisar antara 18,0 km/h hingga 22,5 km/h dan rata-rata sebesar 20,46 km/h. Standar deviasi sebesar 1,64 km/h menunjukkan variasi data yang masih relatif kecil, sedangkan rata-rata error sebesar 0,38% menunjukkan bahwa tingkat akurasi sistem pada kecepatan 20 km/h lebih baik dibandingkan pada kecepatan 10 km/h, baik untuk arah masuk maupun keluar.

Tabel 5. Data Kalibrasi Pengujian Sistem pada Kecepatan 30 Km/h

Kalibrasi kecepatan 30km/h			
Date & Time	Arah	Kecepatan	Presentase Error
2026-05-21 10:02:14	Masuk	29.5 Km/h	1,67%
2026-05-21 10:02:46	Masuk	30.2 Km/h	0,67%
2026-05-21 10:02:52	Keluar	28.7 Km/h	1,03%
2026-05-21 10:03:06	Masuk	31.4 Km/h	1,29%
2026-05-21 10:03:08	Masuk	30.7 Km/h	0,97%
2026-05-21 10:03:21	Keluar	32.2 Km/h	0,31%
2026-05-21 10:03:26	Keluar	29.7 Km/h	1%
2026-05-21 10:03:35	Keluar	30.2 Km/h	0,67%
2026-05-21 10:04:08	Masuk	28.5 Km/h	1,72%
2026-05-21 10:04:11	Masuk	30.5 Km/h	1,67%

Tabel 6 .Statistik Deskriptif Kalibrasi Kecepatan 30 Km/h

Statistik	Nilai
Rata-Rata	30,16 Km/h
Nilai Maksimum	32.2 Km/h
Nilai Minimum	28.5 Km/h
Standar Deviasi	1,14 Km/h
Rata-Rata Error	1,10%

Berdasarkan hasil pengujian pada kecepatan target 30 Km/h, diperoleh rata-rata kecepatan terukur sebesar 30,16 Km/h dengan nilai maksimum 32,2 Km/h dan nilai minimum 28,5 Km/h. Standar deviasi sebesar 1,14 Km/h merupakan nilai terendah dibandingkan pengujian lainnya, yang menunjukkan bahwa hasil pengukuran memiliki tingkat kestabilan yang paling baik. Rata-rata *error* sebesar 1,10% menunjukkan bahwa hasil pembacaan sensor masih sangat dekat dengan nilai yang ditunjukkan oleh *speedometer* kendaraan. Selisih rata-rata pengukuran yang hanya sebesar 0,16 Km/h terhadap kecepatan target membuktikan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi pada kecepatan 30 Km/h. Meskipun nilai *error* pada pengujian ini mengalami sedikit peningkatan dibandingkan pengujian 10 Km/h dan 20 Km/h, nilai tersebut secara keseluruhan masih berada di bawah ambang batas 2% sehingga tidak memengaruhi performa sistem secara signifikan.

2. Analisis Hasil Uji Coba Alat

Pengujian lapangan dilakukan terhadap 500 data kendaraan untuk mengetahui performa sistem dalam mendeteksi dan mencatat kecepatan, waktu, serta arah pergerakan kendaraan secara otomatis. Contoh data hasil uji coba ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Contoh Data Hasil Uji Coba Alat

Date & Time	Arah	Kecepatan
2026-05-21 9:57:04	Masuk	9.3 Km/h
2026-05-21 9:57:16	Keluar	9.7 Km/h
2026-05-21 9:57:23	Keluar	10.0 Km/h
2026-05-21 9:57:25	Masuk	13.0 Km/h
2026-05-21 9:57:27	Masuk	10.2 Km/h
2026-05-21 9:57:34	Keluar	11.6 Km/h
2026-05-21 9:57:39	Masuk	12.2 Km/h
2026-05-21 9:57:41	Keluar	11.5 Km/h
2026-05-21 9:59:01	Keluar	10.5 Km/h
2026-05-21 9:59:24	Masuk	12.5 Km/h

Tabel 8 .Statistik Deskriptif Hasil Uji Coba Alat

Statistik	Nilai
Rata-Rata	11,98 Km/h
Nilai Maksimum	155.2 Km/h
Nilai Minimum	0,3 Km/h
Standar Deviasi	12,61 Km/h

Berdasarkan pengujian terhadap 500 data kendaraan, sistem berhasil mendeteksi dan mencatat kecepatan, waktu, serta arah pergerakan kendaraan secara otomatis (Tabel 7). Hasil statistik deskriptif pada Tabel 8 menunjukkan rata-rata kecepatan sebesar 11,98 km/h dengan standar deviasi 12,61 km/h. Rentang nilai antara 0,3 km/h hingga 155,2 km/h mengindikasikan adanya outlier, yang berdasarkan batas atas (rata-rata + 3 standar deviasi) dikategorikan pada kecepatan di atas 37,2 km/h.

Tabel 9. Data Kecepatan yang Melebihi Batas

No	Date & Time	Arah	Kecepatan
1	2026-05-21 10:02:46	Masuk	30.2 Km/h
2	2026-05-21 10:03:06	Masuk	31.4 Km/h
3	2026-05-21 10:03:08	Masuk	30.7 Km/h

4	2026-05-21 10:03:21	Keluar	32.2 Km/h
5	2026-05-21 10:03:35	Keluar	30.2 Km/h
6	2026-05-21 10:04:11	Masuk	30.5 Km/h
7	2026-05-21 10:08:33	Masuk	155.2 Km/h
8	2026-05-21 10:18:09	Masuk	136.4 Km/h
9	2026-05-21 10:18:38	Keluar	33.2 Km/h
10	2026-05-21 10:18:50	Masuk	67.7 Km/h
11	2026-05-21 10:36:11	Masuk	43.3 Km/h
12	2026-05-21 10:37:30	Keluar	32.5 Km/h
13	2026-05-21 10:37:48	Masuk	43.3 Km/h
14	2026-05-21 10:39:14	Masuk	46.6 Km/h
15	2026-05-21 10:40:00	Masuk	55.2 Km/h
16	2026-05-21 10:40:40	Masuk	67.2 Km/h
17	2026-05-21 10:43:59	Masuk	30.2 Km/h
18	2026-05-21 10:56:22	Keluar	63.4 Km/h
19	2026-05-21 11:10:37	Masuk	76.3 Km/h

Untuk mengidentifikasi data yang tidak wajar pada Tabel 9, digunakan batas atas berdasarkan nilai rata-rata ditambah tiga kali standar deviasi (11,98 + 3×12,61 = 37,2 km/h). Berdasarkan batas tersebut, dua data dengan nilai 155,2 km/h dan 136,4 km/h dikategorikan sebagai outlier yang kemungkinan disebabkan oleh gangguan pembacaan sensor, sedangkan 17 data lainnya merupakan kendaraan yang secara konsisten terdeteksi melaju di atas batas kecepatan yang ditetapkan.

Secara keseluruhan, dari 500 data pengujian yang direkam, sebanyak 481 data (96,2%) menunjukkan kecepatan dalam batas normal, sementara 19 data (3,8%) melebihi batas kecepatan yang ditetapkan untuk jalan lingkungan. Hasil ini membuktikan bahwa sistem monitoring kecepatan dan jumlah kendaraan berbasis sensor photo beam mampu bekerja secara akurat dan layak diimplementasikan sebagai solusi pemantauan lalu lintas di jalan lingkungan.

KESIMPULAN

1. Sistem monitoring kecepatan dan jumlah kendaraan berbasis sensor *photo beam* berhasil diimplementasikan dan mampu mendeteksi, mencatat, serta membedakan arah pergerakan kendaraan secara otomatis dan *real-time* di pintu masuk parkiran atas Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

2. Berdasarkan hasil kalibrasi pada tiga referensi kecepatan, sistem menunjukkan tingkat akurasi yang baik dengan persentase error sebesar 0,90% pada kecepatan 10 Km/h, 0,38% pada kecepatan 20 Km/h, dan 1,10% pada kecepatan 30 Km/h. Error yang lebih besar pada kecepatan rendah disebabkan oleh sulitnya mempertahankan kecepatan konstan saat melewati sensor. Variasi nilai error dipengaruhi oleh perubahan kecepatan kendaraan saat melewati sensor serta kesulitan dalam mempertahankan kecepatan konstan selama proses pengujian.

3. Berdasarkan hasil pengujian terhadap 500 data kendaraan, diperoleh rata-rata kecepatan sebesar 11,98 Km/h dengan standar deviasi 12,61 Km/h. Sebanyak 481 data (96,2%) tercatat normal dengan kecepatan ≤ 30 Km/h sesuai Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 111 Tahun 2015, sedangkan 19 data (3,8%) terdeteksi melebihi batas kecepatan yang ditetapkan. Analisis statistik menunjukkan batas *outlier* berada pada 37,2 Km/h dengan 10 data (2%) yang teridentifikasi sebagai *outlier.*

4. Sistem memiliki keterbatasan dalam penentuan arah kendaraan, di mana apabila suatu objek telah mendeteksi sensor pertama namun kemudian berbalik arah sebelum mencapai sensor kedua, maka sistem akan mencatatnya dengan arah yang berlawanan dari kondisi sebenarnya.

5. Sensor *photo beam* yang digunakan tidak dapat membedakan jenis objek yang melintas, sehingga pejalan kaki maupun orang yang berlari melewati area sensor juga ikut terdeteksi dan tercatat sebagai data kendaraan oleh sistem.

SARAN

1. Penambahan sistem klasifikasi objek untuk mengatasi ketidakmampuan sistem dalam membedakan jenis objek yang terdeteksi, disarankan pada penelitian selanjutnya untuk mengintegrasikan kamera dan teknologi *computer vision* atau *image processing* sehingga sistem dapat membedakan antara kendaraan bermotor, mobil, sepeda, maupun pejalan kaki secara otomatis.

2.Penambahan validasi arah kendaraan untuk meni ngkatkan akurasi pencataan arah kendaraan, disarankan untuk menambahkan mekanisme validasi arah seperti sensor ketiga sebagai konfirmasi, sehingga kendaraan yang berbalik arah setelah mendeteksi sensor pertama tidak dicatat sebagai kendaraan dari arah yang berlawanan.

3.Penambahan filter data otomatis untuk meminimalkan data tidak sesuai akibat gangguan sinyal sesaat (*noise*), disarankan untuk menambahkan algoritma filter pada sistem, seperti batas minimum selisih waktu yang dapat diterima, sehingga data yang dihasilkan lebih bersih dan representatif.

4. Peningkatan akurasi pada kecepatan, berdasarkan hasil kalibrasi, sistem telah menunjukkan tingkat akurasi yang baik dengan nilai error di bawah 2% pada seluruh pengujian. Namun demikian, penelitian selanjutnya dapat mengevaluasi pengaruh variasi jarak antar sensor serta penggunaan sensor dengan respon yang lebih cepat untuk meningkatkan kestabilan dan akurasi pengukuran pada berbagai rentang kecepatan kendaraan.

5. Pengembangan media penyimpanan dan visualisasi data disarankan untuk mengembangkan sistem penyimpanan data ke platform yang lebih interaktif, seperti *dashboard* berbasis web atau aplikasi mobile, sehingga data lalu lintas dapat dipantau dan dianalisis secara lebih mudah dan fleksibel oleh pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

1. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 111 Tahun 2015 tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan. Jakarta: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.

2. Pusiknas Bareskrim Polri. (2024). Statistik Kecelakaan Lalu Lintas Indonesia 2023.

3. Korps Lalu Lintas Polri. (2024). Data Korban Kecelakaan Lalu Lintas.

4. Utomo, R. B. (2025). *Pengaruh faktor perilaku manusia terhadap kejadian kecelakaan lalu lintas di Kota Yogyakarta.*

5. Effendi, I. J. (2024). *Descriptive Analysis Kecelakaan Lalu Lintas di Indonesia*.

6. Fauzi, A., & Pratama, R. (2021). Rancang bangun sistem pengukur kecepatan kendaraan menggunakan sensor infrared berbasis mikrokontroler. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, **9**(2), 85–92.

7. Darmawan, C. W., Sompie, S. R. U. A., & Kambey, F. D. K. (2020). Implementasi internet of things pada monitoring kecepatan kendaraan bermotor. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, **9**(2), 123–130