

Rancang Bangun Sistem Deteksi Kendaraan pada Tikungan Berbasis Sensor PIR dan Ultrasonik

Anzarullah K^{1*}, Husain T², Rudy Donny Likliwatil²

¹Teknik Informatika, Universitas Dipa Makassar, Makassar, Indonesia

²Universitas Dipa Makassar, Makassar, Indonesia

e-mail: ¹ansarulla1011@gmail.com, ²husain@undipa.ac.id, ³rudyliklikwatil@undipa.ac.id

Abstrak

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor membawa dampak pada meningkatnya kemungkinan terjadinya kecelakaan lalu lintas, terutama di jalan dengan tikungan sempit dan ruang pandang yang terbatas. Kondisi visibilitas yang rendah sering menyebabkan pengemudi tidak memiliki waktu yang cukup untuk merespons kendaraan dari arah berlawanan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem peringatan dini berbasis ESP32 dengan mengintegrasikan sensor Passive Infrared (PIR) dan sensor ultrasonik untuk mendeteksi keberadaan kendaraan secara langsung. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian akurasi sensor, serta evaluasi waktu respons sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PIR mampu mendeteksi objek bergerak dengan tingkat keberhasilan 100% pada jarak 1–3 meter, 80% pada jarak 4 meter, dan 20% pada jarak 5 meter. Sensor ultrasonik menunjukkan akurasi pengukuran yang baik dengan rata-rata kesalahan sekitar 2,04% dan performa paling stabil pada jarak 1–4 meter. Sistem bekerja secara optimal pada jarak 1–3 meter dengan tingkat keberhasilan 80–100% dan waktu respons kurang dari 1,6 milidetik pada jarak operasional tersebut yaitu 1 hingga 3 meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat berfungsi sebagai solusi peringatan dini untuk meningkatkan kewaspadaan pengemudi pada area tikungan dengan jarak pandang terbatas.

Kata kunci—Sistem peringatan dini, ESP32, sensor PIR, sensor ultrasonik, keselamatan lalu lintas.

Abstract

The increasing number of motorized vehicles has led to a higher risk of traffic accidents, particularly on roads with sharp curves and limited visibility. Low visibility conditions often prevent drivers from having sufficient time to respond to vehicles approaching from the opposite direction. This study aims to design and evaluate an ESP32-based early warning system by integrating Passive Infrared (PIR) and ultrasonic sensors to detect the presence of vehicles in real time. The research method includes hardware and software design, sensor accuracy testing, and system response time evaluation. The test results show that the PIR sensor is capable of detecting moving objects with a success rate of 100% at distances of 1–3 meters, 80% at 4 meters, and 20% at 5 meters. The ultrasonic sensor demonstrates good measurement accuracy with an average error of approximately 2.04%, with the most stable performance occurring at distances between 1 and 4 meters. The system operates optimally within a distance range of 1–3 meters, achieving a detection success rate of 80–100% and a response time of less than 1.6 milliseconds within this operational range. The results indicate that the developed system can function as an early warning solution to improve driver awareness in road curves with limited visibility.

Keywords—Early warning system, ESP32, PIR sensor, ultrasonic sensor, traffic safety.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia terus menunjukkan lonjakan. Menurut data dari Badan Pusat Statistik, jumlah kendaraan bermotor meningkat dari 141,99 juta unit pada tahun 2021 menjadi 148,26 juta unit pada tahun 2022, yang berarti naik sebesar 4,4% [1]. Situasi serupa juga terlihat di Kabupaten Takalar, di mana total sepeda motor tercatat sekitar 139 ribu unit pada tahun 2025 [2]. Pertumbuhan jumlah kendaraan ini bisa berpotensi menambah kepadatan lalu lintas serta meningkatkan kemungkinan kecelakaan, terutama di jalan-jalan dengan bentuk geometris yang berbahaya seperti tikungan tajam dengan jarak pandang yang terbatas.

Data dari Pusiknas Polri menunjukkan bahwa terdapat 224 kecelakaan di Kabupaten Takalar, dengan 21 di antaranya mengakibatkan kematian [3]. Beberapa insiden terjadi di area jalan yang memiliki tikungan sempit dan jarak pandang minim. Kondisi ini berkaitan dengan fenomena blind spot, yaitu keterbatasan pandangan pengemudi terhadap objek dari arah berlawanan akibat hambatan geometris jalan [4]. Pada tikungan dengan radius kecil ($\pm 16-40$ m), kendaraan umumnya hanya aman dilalui pada kecepatan sekitar 30 km/jam [5]. Secara teoritis, kendaraan harus mengalami pengurangan kecepatan sebelum memasuki tikungan untuk menghindari peningkatan gaya sentrifugal yang dapat mengganggu stabilitas [6]. Pedoman keselamatan berkendara juga menyebutkan bahwa jarak aman pengereman pada kecepatan 30 km/jam sekitar 15 meter dan meningkat seiring bertambahnya kecepatan kendaraan [7]. Apabila waktu reaksi tidak mencukupi akibat keterbatasan pandangan, potensi tabrakan akan semakin besar.

Dalam konteks teknologi, sistem peringatan dini dapat menjadi solusi untuk memberikan informasi awal kepada pengendara sebelum memasuki area berisiko. Beberapa kajian sebelumnya memanfaatkan sensor Passive Infrared (PIR) untuk mendeteksi pergerakan objek melalui perubahan radiasi inframerah [8], serta sensor ultrasonik untuk mengukur jarak menggunakan pantulan gelombang suara frekuensi tinggi [9]. Kedua sensor ini telah banyak digunakan dalam sistem berbasis mikrokontroler dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Namun, sebagian besar penelitian masih menggunakan satu jenis sensor tanpa validasi deteksi ganda untuk meningkatkan keandalan sistem.

Perkembangan Internet of Things (IoT) memungkinkan perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan internet sehingga dapat berkomunikasi dan bertukar data secara otomatis tanpa intervensi langsung manusia [10]. Dalam implementasinya, komunikasi data pada sistem IoT sering menggunakan protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), yaitu protokol ringan dengan arsitektur publish-subscribe yang dirancang untuk efisiensi daya dan bandwidth rendah [11]. Pemanfaatan IoT dalam sistem peringatan dini di tikungan dengan blind spot masih terbatas, khususnya pada jalan non-perkotaan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem peringatan dini berbasis mikrokontroler ESP32 dengan menggabungkan sensor PIR dan sensor ultrasonik untuk mendeteksi kendaraan pada area tikungan dengan pandangan terbatas. Sistem dirancang untuk memberikan peringatan visual dan audio secara langsung serta mendukung pemantauan jarak melalui komunikasi MQTT. Dengan pendekatan penggabungan sensor ganda dan dukungan IoT, sistem ini diharapkan dapat meningkatkan kewaspadaan pengendara dan menjadi solusi teknologi sederhana yang aplikatif untuk meningkatkan keselamatan pada tikungan berisiko.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Sistem

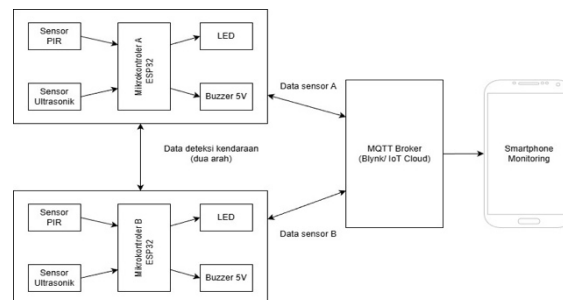
Sistem peringatan dini yang dikembangkan terdiri dari dua Node yang berada di sisi berlawanan dari sebuah tikungan, yaitu Node A dan Node B. Setiap node dilengkapi dengan

sensor PIR, sensor ultrasonik HC-SR04, mikrokontroler ESP32, LED untuk indikasi visual, serta buzzer 5V untuk indikasi audio.

Sensor PIR berperan sebagai detektor awal pergerakan kendaraan dengan mendeteksi perubahan radiasi inframerah. Begitu ada objek yang bergerak terdeteksi, ESP32 akan memulai proses pengukuran jarak dengan memanfaatkan sensor ultrasonik. Sensor ultrasonik berfungsi dengan mengirimkan gelombang ultrasonik melalui pin Trig dan mendapatkan pantulannya melalui pin Echo untuk menentukan jarak kendaraan dari titik deteksi.

Data dari proses deteksi diolah oleh ESP32 untuk mengidentifikasi kondisi peringatan. Apabila kendaraan terdeteksi dalam jarak yang ditentukan, maka LED dan buzzer di titik tersebut akan menyala sebagai tanda peringatan lokal. Pada saat yang sama, data deteksi dikirim menggunakan protokol MQTT ke broker (Blynk/IoT Cloud), sehingga titik di sisi yang berlawanan juga mendapatkan informasi tersebut dan memicu indikator peringatan.

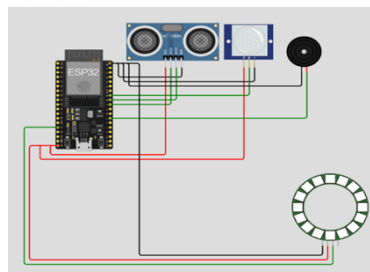
Dengan adanya mekanisme komunikasi dua arah ini, sistem dapat memberikan peringatan secara bersamaan kepada para pengendara dari dua arah sebelum mereka memasuki area tikungan yang memiliki blind spot. Selain itu, data sensor dapat diawasi melalui aplikasi smartphone secara waktu nyata. Rancangan keseluruhan sistem ditampilkan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

2.2 Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras dilakukan dengan menggabungkan sensor PIR HC-SR501 dan sensor ultrasonik HC-SR04 ke dalam mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pengontrol utama sistem. Sensor PIR terhubung ke salah satu pin digital input ESP32 untuk mendeteksi perubahan radiasi inframerah akibat pergerakan kendaraan. Ketika sensor PIR mengirimkan sinyal HIGH, ESP32 segera melakukan pembacaan jarak menggunakan sensor ultrasonik.



Gambar 2. Rancangan Perangkat Keras

Sensor ultrasonik HC-SR04 terhubung ke dua pin digital ESP32, yaitu pin Trig untuk memicu gelombang ultrasonik dan pin Echo untuk menerima gelombang pantulan. Mengingat ESP32 beroperasi pada level logika 3,3V, sedangkan pin Echo HC-SR04 memberikan sinyal 5V, maka digunakan rangkaian pembagi tegangan dengan resistor 1 k Ω dan 2,2 k Ω untuk menjalankan penyesuaian level tegangan yang aman bagi ESP32.

LED WS2812B berfungsi sebagai indikator visual dan dapat dikendalikan melalui satu pin data digital ESP32. Buzzer 5V yang aktif terhubung ke pin output digital untuk mengeluarkan suara peringatan saat kondisi deteksi terpenuhi. Seluruh sistem mendapatkan sumber daya 5V melalui port USB, sementara regulator internal ESP32 menurunkan tegangan menjadi 3,3V untuk kepentingan logika internal.

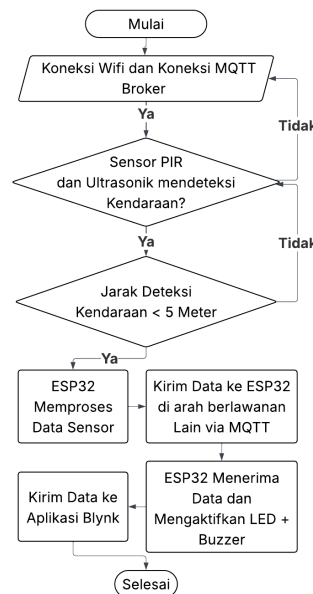
Pengaturan ini diterapkan pada dua node yang memiliki susunan perangkat keras yang sama dan saling berkomunikasi melalui jaringan WiFi dengan menggunakan protokol MQTT, Konfigurasi pin antara komponen dan ESP32 pada sistem ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Pin Komponen Yang Terhubung Ke ESP32

No	Komponen	Pin Komponen	Pin ESP32
1.	Sensor Ultrasonik HC-SR04	Vcc	Vin
		Trig	GPIO 5
		Echo	GPIO 18
		Gnd	Gnd
2.	Sensor PIR HC-SR501	Vcc	Vin
		Data	GPIO 19
		Gnd	Gnd
3.	Buzzer	Vcc (+)	GPIO 27
		Gnd (-)	Gnd
4.	LED WS2812B	Vcc	Vin
		D1	GPIO 13
		Gnd	Gnd

2.3 Implementasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak sistem dibuat dengan menggunakan Arduino IDE dan bahasa pemrograman C/C++. Program yang berjalan pada ESP32 bertugas untuk menggabungkan pembacaan sensor, proses logika deteksi, pengendalian aktuator, serta komunikasi data via protokol MQTT. Alur kerja perangkat lunak sistem dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Alur Kerja Sistem Deteksi Kendaraan

Proses sistem dimulai dengan terhubung ke jaringan WiFi dan pengaturan koneksi ke broker MQTT. Setelah koneksi berhasil, ESP32 akan secara rutin melakukan pemantauan dengan membaca status dari sensor PIR dan sensor ultrasonik.

Saat sensor mendeteksi adanya kendaraan, sistem akan mengecek jarak objek menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04. Jarak tersebut dihitung berdasarkan waktu yang dibutuhkan gelombang ultrasonik dari pin Trig hingga pantulannya kembali diterima di pin Echo.

Jika kendaraan terdeteksi dalam jarak kurang dari 5 meter, ESP32 akan memproses data dari sensor dan mengirimkan informasi deteksi ke ESP32 yang ada di node sebaliknya melalui

protokol MQTT. Node penerima kemudian akan menyalakan indikator peringatan berupa LED WS2812B dan buzzer 5V untuk menunjukkan bahwa kendaraan sedang mendekat.

Selain itu, hasil deteksi juga akan dikirimkan ke aplikasi Blynk sehingga status deteksi dan nilai jarak dapat dipantau langsung melalui smartphone. Sistem dilengkapi dengan mekanisme untuk melakukan koneksi ulang secara otomatis agar komunikasi tetap stabil jika terjadi gangguan jaringan.

Dengan mekanisme ini, perangkat lunak memastikan bahwa proses deteksi dan penyampaian peringatan berlangsung secara responsif dan terintegrasi di antara kedua node sistem.

2.4 Metode Pengujian

Pengujian sistem dilakukan dalam dua situasi lingkungan yang berbeda guna mengevaluasi kinerja sensor secara bertahap. Pengujian akurasi sensor ultrasonik dengan menggunakan model miniatur mobil dilakukan di dalam ruangan agar suasana lebih terkendali dan proses pengukuran jarak bisa lebih mudah dengan menggunakan meteran sebagai acuan.

Sementara itu, pengujian untuk mendeteksi kendaraan menggunakan objek kendaraan asli dilakukan di area garasi atau lingkungan luar ruangan untuk menirukan kondisi penggunaan sistem yang lebih mirip dengan keadaan nyata di jalan.

Pendekatan ini diambil untuk mendapatkan data pengujian yang lebih representatif, baik dalam kondisi pengujian yang terkontrol maupun dalam situasi yang mendekati penerapan yang sebenarnya. Selanjutnya, Pengujian sistem dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

2.4.1 Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik

Uji coba dilakukan dengan membandingkan jarak yang sebenarnya diukur menggunakan penggaris dengan jarak yang ditunjukkan oleh sensor. Persentase kesalahan dihitung menggunakan rumus error relatif sebagaimana digunakan pada penelitian sebelumnya [12]. Pendekatan serupa juga diterapkan pada pengujian akurasi sensor HC-SR04 [13]:

$$Error (\%) = \frac{|j\text{arak}_{\text{terukur}} - \text{jarak}_{\text{sebenarnya}}|}{\text{jarak}_{\text{sebenarnya}}} \times 100 \quad (1)$$

Uji coba dikerjakan pada rentang jarak antara 1 hingga 5 meter dengan melakukan beberapa kali pengulangan untuk setiap jaraknya.

2.4.2 Pengujian Sensor PIR

Sensor PIR diuji untuk melihat seberapa efektif dalam mendeteksi objek yang bergerak. Ketika ada objek yang tidak bergerak. Uji coba dilakukan pada jarak 1 hingga 5 meter untuk menilai konsistensi dalam mendeteksi.

2.4.3 Pengujian Waktu Respons Sistem

Waktu respons sistem diukur sebagai selisih waktu dari saat objek terdeteksi oleh sensor hingga LED dan buzzer mulai aktif. Proses pengukuran dilakukan dengan mencatat waktu menggunakan stopwatch di handphone.

2.4.4 Pengujian Fungsional Sistem

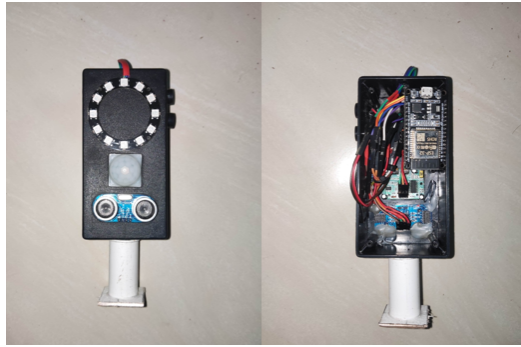
Pengujian dilaksanakan dengan membuat simulasi kendaraan bergerak dua arah untuk menilai interaksi antar node melalui MQTT dan kestabilan pengaktifan sinyal peringatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian

Pada bagian ini, Merupakan hasil dari uji coba dan analisis sistem peringatan dini yang telah dirancang. Uji coba dilakukan untuk menilai kinerja setiap komponen utama, yaitu sensor PIR, sensor ultrasonik, serta performa keseluruhan sistem dalam hal waktu respons dan tingkat keberhasilan dalam mendeteksi. Selain itu, juga diadakan pengujian terhadap variasi objek untuk mengamati dampak karakteristik permukaan terhadap kemampuan deteksi sensor.

Hasil dari pengujian disusun dalam tabel dan dianalisis untuk memahami tingkat akurasi, konsistensi, serta batasan operasional sistem.



Gambar 4. Prototipe perangkat sistem deteksi berbasis ESP32

3.1.1 Hasil Pengujian Sensor PIR

Pengujian sensor PIR dilakukan untuk menilai seberapa baik alat ini dapat mendeteksi pergerakan kendaraan dalam jarak 1 hingga 5 meter. Setiap tingkat jarak dicoba sebanyak lima kali untuk mengevaluasi konsistensi respon sensor terhadap objek yang bergerak. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, sensor PIR menunjukkan tingkat keberhasilan deteksi mencapai 100% pada jarak 1 hingga 3 meter, di mana setiap percobaan berhasil menangkap gerakan kendaraan. Untuk jarak 4 meter, sensor masih berhasil mendeteksi objek dengan tingkat keberhasilan 80%, sedangkan pada jarak 5 meter, keberhasilan mendeteksi turun drastis menjadi 20%, yang berarti sensor hanya bisa mendeteksi objek dalam satu dari lima percobaan.

Penurunan tingkat keberhasilan ini menunjukkan bahwa kemampuan deteksi sensor PIR semakin menurun saat jarak objek menjauh dari sensor. Perbedaan signifikan antara hasil pengujian pada 4 meter (80%) dan 5 meter (20%) menandakan bahwa jarak tersebut hampir mencapai batas kemampuan deteksi sensor dalam pengujian yang dilakukan. Berdasarkan hasil ini, jarak operasional sensor PIR yang memberikan deteksi paling konsisten berada dalam rentang 1 hingga 3 meter.

Tabel 2 Hasil Pengujian Sensor PIR Kondisi Bergerak

No	Jarak Kendaraan (m)	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Pengujian 4	Pengujian 5
1.	1	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi
2.	2	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi
3.	3	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi
4.	4	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi
5.	5	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi

3.1.2 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik (Objek Mobil / Ideal)

Pengujian dilakukan pada sensor ultrasonik untuk mengevaluasi akurasi pengukuran jarak dalam rentang 1 hingga 5 meter. Setiap jarak diuji dua kali, dengan membandingkan hasil dari sensor dengan jarak yang sebenarnya diukur menggunakan alat pengukur sebagai acuan. Hasil dari pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 3.

Dari hasil pengujian, kesalahan dalam pengukuran bervariasi antara 1,00% sampai 3,00%. Kesalahan terbesar terdeteksi pada jarak 2 meter dengan nilai 3,00%, sedangkan kesalahan terkecil terlihat pada jarak 1 meter dengan nilai 1,00%. Variasi dalam kesalahan ini menunjukkan bahwa pembacaan dari sensor ultrasonik masih berada pada rentang kesalahan yang cukup kecil.

Secara keseluruhan, hasil pengujian memperlihatkan bahwa sensor ultrasonik dapat mengukur jarak dengan tingkat akurasi yang baik pada kisaran 1 hingga 4 meter. Pada jarak tersebut, tingkat kesalahan pengukuran relatif konsisten.

Namun, pada jarak 5 meter, sensor tidak dapat mendeteksi pantulan gelombang ultrasonik, yang menghasilkan output No Echo, seperti yang terlihat pada Tabel 3. Keadaan ini menunjukkan bahwa kemampuan sensor dalam mendeteksi mulai menurun pada jarak yang

maksimal untuk pengujian. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya energi gelombang ultrasonik yang dipantulkan kembali ke sensor serta pengaruh dari karakteristik permukaan obyek dan sudut pantulnya. Dari temuan tersebut dapat disimpulkan bahwa jarak efektif untuk sensor ultrasonik yang memberikan hasil pengukuran paling stabil berada pada kisaran 1 hingga 4 meter.

Tabel 3 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

No	Jarak Sebenarnya (m)	Jarak Terbaca Sensor (m)	Selisih (m)	Error(%)
1.	1	0,98	0,02	2,00
2.	1	0,99	0,01	1,00
3.	2	1,97	0,03	1,50
4.	2	1,94	0,06	3,00
5.	3	2,94	0,06	2,00
6.	3	2,95	0,05	1,60
7.	4	3,89	0,11	2,75
8.	4	3,90	0,10	2,50
9.	5	-	-	-
10.	5	-	-	-



Gambar 5. Persentase Error Sensor Ultrasonik Implementasi Sistem



Gambar 6. Proses pengujian sistem terhadap objek kendaraan.

3.1.3 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik dengan Objek Miniatur

Pengujian terhadap sensor ultrasonik menggunakan objek miniatur dilakukan sebanyak sepuluh kali pada jarak satu meter. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi seberapa baik sensor dapat mendeteksi objek kecil yang memiliki area pantul yang lebih sempit dibandingkan dinding. Hasil dari pengujian tersebut ditampilkan dalam Tabel 5:

Tabel 4 Hasil Pengujian dengan Objek Miniatur

No	Jarak Sebenarnya (m)	Jarak Terbaca (m)	Keterangan
1.	1	1,69	Terbaca
2.	1	1,69	Terbaca
3.	1	1,113	Terbaca
4.	1	-	No Echo
5.	1	1,70	Terbaca
6.	1	1,26	Terbaca

No	Jarak Sebenarnya (m)	Jarak Terbaca (m)	Keterangan
7.	1	1,24	Terbaca
8.	1	1,69	Terbaca
9.	1	1,69	Terbaca
10.	1	-	No Echo

Pengujian dilakukan menggunakan model mobil kecil dengan ukuran tinggi 9 cm dan lebar 8 cm untuk mensimulasikan objek yang memiliki area permukaan pantul lebih kecil dibandingkan dengan dinding. Pengujian pada objek skala kecil ini difokuskan pada jarak 1 meter, karena pada percobaan awal yang dilakukan pada jarak lebih dari 1 meter, sensor tidak dapat mendeteksi pantulan gelombang ultrasonik dan hanya menghasilkan keluaran No Echo. Uji coba pada jarak 1 meter menunjukkan bahwa sensor ultrasonik tetap dapat mendeteksi objek, meskipun ada satu percobaan yang menunjukkan kondisi No Echo.

Data yang diperoleh menunjukkan adanya variasi nilai yang lebih signifikan dibandingkan dengan pengujian yang menggunakan dinding sebagai objek pantul. Perbedaan ini menunjukkan bahwa ukuran serta area permukaan objek berpengaruh terhadap kualitas pantulan gelombang ultrasonik yang diterima kembali oleh sensor.

Pada jarak 2 hingga 5 meter, sensor tidak berhasil mendeteksi model mobil kecil dan menghasilkan output No Echo. Situasi ini terjadi karena ukuran objek yang relatif kecil membuat energi gelombang ultrasonik yang dipantulkan kembali kepada sensor terlalu lemah atau menyebar, sehingga tidak dapat terdeteksi oleh modul penerima. Temuan ini menunjukkan bahwa performa sensor ultrasonik dipengaruhi tidak hanya oleh jarak, tetapi juga oleh sifat fisik objek, terutama area dan sudut permukaan pantul.

3.1.4 Pengujian Waktu Respons Sistem

Pengujian waktu respons dilakukan untuk mengevaluasi kecepatan sistem dalam memberikan sinyal setelah kendaraan terdeteksi oleh sensor. Pengukuran dilakukan pada jarak antara 1 hingga 5 meter, dengan masing-masing percobaan dilakukan sebanyak lima kali.

Tabel 5 Pengujian Waktu Respon Sistem

No	Jarak (m)	Jumlah Uji	Berhasil	Gagal	Keberhasilan (%)	Rata-rata Waktu Respon (ms)
1.	1	5	5	0	100	1,33
2.	2	5	4	1	80	1,30
3.	3	5	4	1	80	1,53
4.	4	5	3	2	60	2,23
5.	5	5	1	4	20	2,78

Dari Tabel 6, terlihat bahwa sistem memberikan hasil terbaik pada jarak 1 meter dengan tingkat akurasi mencapai 100% dan rata-rata waktu respons 1,33 ms. Pada jarak 2 dan 3 meter, tingkat akurasi berkurang menjadi 80%, dengan waktu respons rata-rata masing-masing adalah 1,30 ms dan 1,53 ms.

Penurunan kinerja mulai tampak pada jarak 4 meter, di mana tingkat akurasi turun menjadi 60% dan waktu respons meningkat menjadi 2,23 ms. Sementara itu, pada jarak 5 meter, sistem hanya mampu mendeteksi satu dari lima percobaan (20%) dengan waktu respons mencapai 2,78 ms.

Temuan ini menunjukkan bahwa semakin jauh jarak deteksi, semakin rendah tingkat akurasi sistem, dan waktu respons yang diperlukan semakin meningkat. Ini menunjukkan bahwa jarak operasional yang paling efektif dan stabil untuk sistem peringatan dini ini terletak pada rentang 1 hingga 3 meter, dan masih dapat berfungsi hingga 4 meter meskipun dengan konsistensi yang mulai menurun.

3.2 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Hasil dari pengujian sensor PIR dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sensor tersebut dapat mendeteksi objek yang bergerak secara konsisten dan tidak merespons objek yang diam. Ciri-ciri ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa sensor PIR beroperasi

berdasarkan perubahan radiasi inframerah yang disebabkan oleh pergerakan benda, sehingga tidak mengidentifikasi objek yang tidak bergerak [14]. Dalam penelitian tersebut, jarak efektif untuk deteksi berada di antara 1 hingga 7 meter, dengan penurunan konsistensi pada jarak yang lebih jauh. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan pola yang serupa, di mana deteksi masih terjadi hingga jarak 5 meter, tetapi kestabilan mulai menurun pada jarak maksimum tersebut.

Pengujian terhadap sensor ultrasonik HC-SR04 dalam penelitian ini menunjukkan rata-rata kesalahan pengukuran sekitar 2,04%, yang masih dalam kisaran 1 hingga 3% seperti yang diungkapkan pada penelitian terdahulu [15], dan jauh di bawah batas toleransi 10% untuk pengukuran jarak. Selain itu, kedua studi menunjukkan pola yang sama, yaitu kenaikan nilai kesalahan ketika jarak pengukuran mendekati batas maksimum sensor. Dalam penelitian ini, performa yang paling stabil terukur pada jarak 1 hingga 4 meter, sedangkan pada jarak 5 meter sensor tidak lagi mampu menerima pantulan gelombang ultrasonik sehingga menghasilkan keluaran No Echo.

Keselarasan pola kinerja tersebut menunjukkan bahwa karakteristik sensor ultrasonik dalam sistem yang dikembangkan sesuai dengan temuan dari penelitian sebelumnya, sehingga keabsahan hasil pengujian dapat dipertanggungjawabkan dari segi ilmiah. Kecuali untuk mengonfirmasi kinerja setiap sensor, studi ini juga membuktikan bahwa integrasi sensor PIR dan sensor ultrasonik dalam satu sistem peringatan dini berbasis IoT dapat berfungsi secara sinergis. Sensor PIR berperan sebagai pemicu awal untuk mendeteksi gerakan, sedangkan sensor ultrasonik memastikan jarak sebelum sistem mengaktifkan peringatan visual dan audio. Pendekatan ini meningkatkan efisiensi sistem dan mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan deteksi jika dibandingkan dengan penggunaan satu jenis sensor saja.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil desain, pelaksanaan, dan pengujian sistem peringatan dini yang menggunakan ESP32, didapatkan beberapa poin kesimpulan sebagai berikut:

- a. Sensor PIR dapat mengidentifikasi objek yang bergerak dengan tingkat keberhasilan 100% pada jarak 3 meter. Ketika jarak diperpanjang menjadi 4 meter, tingkat keberhasilan deteksi turun menjadi 80%, sementara pada 5 meter hanya mencapai 20%. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas deteksi sensor mulai berkurang pada jarak yang lebih jauh.
- b. Sensor ultrasonik HC-SR04 menunjukkan akurasi yang baik, dengan rata-rata kesalahan pengukuran sebesar 2,04%, yang masih dalam batas toleransi untuk aplikasi pengukuran jarak.
- c. Uji waktu respons sistem menunjukkan performa terbaik pada jarak 1–3 meter dengan tingkat keberhasilan antara 80–100% dan rata-rata waktu respons di bawah 1,6 ms pada jarak 1 hingga 3 meter. Namun, pada jarak 4 meter, tingkat keberhasilan menurun menjadi 60%, dan saat mencapai 5 meter, hanya 20%.
- d. Jarak operasi sistem yang paling stabil dan efektif terletak pada kisaran 1–3 meter, dan masih dapat berfungsi hingga 4 meter meskipun konsistensinya mulai berkurang.
- e. Penggunaan sensor PIR dan sensor ultrasonik dalam satu sistem berbasis IoT menawarkan keuntungan dengan adanya proses deteksi bertahap (pemicuan dan verifikasi), yang membuat sistem lebih efisien dan mengurangi kemungkinan kesalahan deteksi.
- f. Keterbatasan sistem ini terlihat dari penurunan kinerja deteksi saat mendekati batas maksimum sensor dan ketergantungan terhadap kondisi lingkungan serta kualitas pantulan gelombang ultrasonik.

- g. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menerapkan sensor jarak yang lebih jauh, memperbaiki algoritma pemrosesan data, serta meningkatkan sistem komunikasi agar dapat lebih beradaptasi dengan gangguan jaringan.

5. SARAN

Berdasarkan keterbatasan yang ditemukan dalam studi ini, terdapat beberapa rekomendasi untuk studi selanjutnya sebagai berikut:

- a. Studi berikutnya dapat menerapkan sensor jarak dengan kemampuan jangkauan dan kestabilan yang lebih baik untuk meningkatkan kinerja sistem dalam mendeteksi objek pada jarak lebih dari 4 meter, sehingga area operasional sistem dapat diperluas.
- b. Pengembangan lebih lanjut juga dapat diarahkan untuk mengoptimalkan algoritma dalam pemrosesan data, seperti penggunaan metode filtering atau teknik pengolahan sinyal, guna meningkatkan ketepatan pembacaan sensor dan mengurangi risiko kegagalan deteksi pada jarak maksimum.
- c. Pengujian sistem dapat diperluas dengan mencakup variasi pada kondisi lingkungan yang lebih beragam, seperti perubahan suhu, sudut datang objek, serta sifat permukaan objek, untuk mendapatkan evaluasi kinerja sistem yang lebih menyeluruh.
- d. Penelitian lanjutan juga bisa mencakup penambahan fitur, seperti estimasi kecepatan atau klasifikasi objek, untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam memberikan peringatan yang lebih responsif terhadap situasi lalu lintas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan syukur kepada Allah SWT atas anugerah-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan, serta menyampaikan terima kasih kepada Universitas Dipa Makassar atas dukungan yang diberikan. Penulis juga ingin mengungkapkan terima kasih yang mendalam kepada Bapak Dr. Husain T., S.T., M.T., M.Pd., selaku pembimbing I, dan Bapak Rudy Donny Likliwatil, S.E., M.Kom., selaku pembimbing II, atas bimbingan, petunjuk, dan saran berharga yang telah diberikan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih yang tulus juga penulis sampaikan kepada kedua orang tua tercinta atas doa, dukungan, motivasi, serta kasih sayang yang tiada henti sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, “Perkembangan jumlah kendaraan bermotor menurut jenis (Unit), 2022,” 2024. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NTcjMg==/number-of-motor-vehicle-by-type.html>. [Accessed: Nov. 17, 2025].
- [2] I. Fadhlurrahman, “Jumlah kendaraan bermotor di Kabupaten Takalar,” Sep. 16, 2025. [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/transportasi-logistik/statistik/b8810f7a9a3c687/jumlah-kendaraan-bermotor-di-kabupaten-takalar-16-september-2025>. [Accessed: Nov. 17, 2025].
- [3] Korlantas Polri, “Statistik kecelakaan lalu lintas periode 1 Januari–15 Juni 2025,” 2025. [Online]. Available: https://pusiknas.polri.go.id/laka_lantas. [Accessed: Nov. 17, 2025].
- [4] M. R. Usman, “Sistem monitoring blind spot pada prototipe kendaraan roda empat untuk mengurangi risiko kecelakaan lalu lintas,” Disertasi, Program Doktor, Nusa Putra University, Sukabumi, 2025.
- [5] R. Risno and K. Kasmada, “Evaluasi geometrik jalan pada tikungan (lengkung horisontal) berdasarkan pedoman desain geometrik jalan tahun 2021: Studi kasus: Jalan Swaka Alam Lestari,” J-CEKI: Jurnal Cendekia Ilmiah, vol. 4, no. 2, pp. 2484–2496, 2025.

-
- [6] A. Roy and D. Dasgupta, "Towards a novel strategy for safety, stability and driving dynamics enhancement during cornering manoeuvres in motorsports applications," *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, p. 6318, 2020.
- [7] D. Awaludin, "Implementasi hasil kalibrasi alat uji speedometer tester," Disertasi, Program Doktor, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Surabaya, 2021.
- [8] D. Desmira, D. Aribowo, W. D. Nugroho, and S. Sutarti, "Penerapan sensor passive infrared (PIR) pada pintu otomatis di PT LG Electronic Indonesia," *Prosisko: Jurnal Pengembangan Riset dan Observasi Sistem Komputer*, vol. 7, no. 1, 2020.
- [9] T. N. Arifin, G. F. Pratiwi, and A. Janrafsasih, "Sensor ultrasonik sebagai sensor jarak," *Jurnal Tera*, vol. 2, no. 2, pp. 55–62, 2022.
- [10] M. Zakiansyah and T. Sutabri, "Integrasi internet of things (IoT) dan kecerdasan buatan (AI) untuk smart city di Indonesia," *Journal Sains Student Research*, vol. 3, no. 2, pp. 346–354, 2025.
- [11] F. H. Al Muminurradian, "Perancangan sistem pengujian throughput publishing data menggunakan protokol MQTT pada modul ESP32 dengan metode analisa statistik deskriptif," Skripsi, Program Studi Teknik Informatika, Universitas Tanjungpura, Pontianak, 2023.
- [12] W. D. Meilianto, W. Indrasari, and E. Budi, "Karakterisasi sensor suhu dan kelembaban tanah untuk aplikasi sistem pengukuran kualitas tanah," in *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, vol. 10, 2022.
- [13] A. Adhamatika, B. A. Salsabilah, D. Triardianto, D. A. Putri, and S. C. Yuansah, "Pengujian akurasi sensor ultrasonik HC-SR04 dalam mengukur jarak suatu benda," in *Proc. NaCIA (National Conference on Innovative Agriculture)*, pp. 175–180, 2024.
- [14] A. A. Fahdy, I. W. A. Arimbawa, and A. Hernawan, "Rancang bangun alat pendeteksi halangan untuk mencegah kecelakaan di tikungan menggunakan sensor passive infrared receiver (PIR) dan lampu peringatan," Skripsi, Program Studi Teknik Informatika, Universitas Mataram, Mataram, 2022.
- [15] P. E. Broto, "Perbandingan persentase kesalahan sensor sonar pengukur jarak berbasis HC-SR04 dan HY-SRF05," *SAINFIS: Jurnal Sains Fisika*, vol. 4, no. 1, pp. 1–10, 2024.