

Analisis Pengukur Jarak Menggunakan Gelombang Ultrasonik Sebagai Sensor Parkir Mobil

Rahmatsyah Ketaren^{1*}, Solly Aryza Lubis²

^{1,2}Universitas Pembangunan Panca Budi
retnomutiara2122@gmail.com

Corresponding Author: Rahmatsyah Ketaren

ABSTRAK

Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor telah meningkatkan mobilitas dan efektivitas aktivitas manusia. Namun, kondisi tersebut juga berdampak pada semakin terbatasnya ruang parkir, sehingga risiko terjadinya benturan antar kendaraan maupun dengan objek di sekitarnya semakin tinggi, terutama pada area parkir yang sempit. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang dapat membantu pengemudi dalam mengendalikan kendaraan, khususnya saat melakukan manuver parkir, guna meminimalkan risiko benturan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan purwarupa sistem pengukur jarak berbasis sensor ultrasonik sebagai sensor parkir mobil. Sistem menggunakan tiga buah sensor ultrasonik HC-SR04 yang ditempatkan pada sisi kiri, kanan, dan belakang kendaraan. Sensor bekerja dengan memancarkan dan menerima gelombang ultrasonik yang dipantulkan oleh objek di sekitar kendaraan. Data jarak yang diperoleh kemudian diolah menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 R3 dan ditampilkan melalui LCD serta indikator peringatan berupa RGB LED, LED bar graph, dan buzzer.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa purwarupa mampu mendeteksi keberadaan objek pada sisi kiri, kanan, dan belakang kendaraan dengan baik. Berdasarkan pengujian Single Sensor Test dan Multi Sensor Test, diperoleh persentase galat sistem sebesar 1,85%. Sistem peringatan bekerja secara bertahap (gradual) sesuai dengan perubahan jarak objek terhadap kendaraan. Selain itu, purwarupa memiliki konsumsi daya yang rendah, yaitu sebesar 1 Watt, sehingga berpotensi untuk diaplikasikan pada sistem parkir mobil yang sebenarnya.

Kata Kunci: *Arduino Mega, HC-SR04, Sensor Ultrasonik, Pengukur Jarak, Sensor Parkir.*

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi otomotif pada era kendaraan cerdas (intelligent vehicles) telah mendorong penerapan berbagai sistem bantuan pengemudi (Advanced Driver Assistance Systems/ADAS) untuk meningkatkan keselamatan dan kenyamanan berkendara. Salah satu fitur ADAS yang banyak digunakan adalah sistem bantuan parkir, yang bertujuan membantu pengemudi dalam melakukan manuver parkir secara lebih aman dan efisien, terutama pada lingkungan dengan keterbatasan ruang dan kepadatan kendaraan yang tinggi (Chen et al., 2021).

Sensor parkir merupakan komponen utama dalam sistem bantuan parkir, yang berfungsi mendeteksi keberadaan objek di sekitar kendaraan. Sensor berbasis gelombang ultrasonik masih menjadi pilihan utama dalam aplikasi parkir mobil karena memiliki struktur sederhana, konsumsi daya rendah, serta biaya implementasi yang relatif murah dibandingkan sensor berbasis kamera atau LiDAR (Zhang & Wang, 2020). Sensor ultrasonik bekerja dengan memancarkan gelombang suara berfrekuensi tinggi dan mengukur waktu tempuh gelombang pantul (echo) untuk menentukan jarak antara kendaraan dan objek di sekitarnya.



Lisensi
Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

Penggunaan sensor ultrasonik sebagai pengukur jarak pada sistem parkir mobil memungkinkan sistem memberikan peringatan dini kepada pengemudi dalam bentuk sinyal suara atau tampilan visual. Informasi jarak yang akurat sangat penting untuk mencegah terjadinya benturan saat parkir, khususnya pada area dengan visibilitas terbatas (Kumar et al., 2022). Oleh karena itu, keandalan dan akurasi sensor ultrasonik menjadi faktor krusial dalam efektivitas sistem parkir.

Meskipun memiliki banyak keunggulan, kinerja sensor ultrasonik dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal, seperti sudut pantulan objek, jenis permukaan objek, kondisi suhu udara, serta gangguan lingkungan lainnya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa variasi kondisi lingkungan dapat menyebabkan kesalahan pengukuran jarak jika tidak dilakukan kalibrasi dan pemrosesan sinyal yang tepat (Lee & Park, 2023). Hal ini menuntut adanya analisis lebih lanjut terhadap karakteristik dan performa sensor ultrasonik dalam aplikasi parkir mobil.

Seiring dengan meningkatnya jumlah kendaraan di kawasan perkotaan dan keterbatasan lahan parkir, penerapan sistem parkir berbasis sensor ultrasonik yang andal diharapkan dapat mengurangi risiko kecelakaan saat parkir serta meningkatkan efisiensi penggunaan ruang parkir (Rahman et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian mengenai analisis pengukur jarak menggunakan gelombang ultrasonik sebagai sensor parkir mobil menjadi penting untuk mendukung pengembangan sistem parkir yang lebih cerdas, aman, dan terintegrasi dengan teknologi kendaraan modern.

Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan dan penyempurnaan sistem sensor parkir mobil berbasis gelombang ultrasonik, khususnya dalam meningkatkan akurasi pengukuran jarak dan keandalan sistem dalam berbagai kondisi lingkungan.

2. KAJIAN TEORITIS

a. Sistem Komunikasi

Sistem komunikasi merupakan suatu proses pemindahan atau penyaluran informasi dari sumber (source) ke tujuan (destination) melalui suatu media transmisi dalam interval waktu tertentu. Informasi yang dikirimkan dapat berasal dari manusia, sensor, atau perangkat elektronik lainnya yang menghasilkan sinyal berdasarkan perubahan fungsi waktu (Haykin, 2020). Tujuan utama dari sistem komunikasi adalah menyampaikan pesan (message) secara akurat sehingga dapat direkonstruksi kembali di sisi penerima tanpa mengalami distorsi yang signifikan.

Dalam sistem komunikasi modern, pesan direpresentasikan dalam bentuk sinyal listrik atau sinyal digital yang dapat ditransmisikan melalui berbagai media, baik kabel maupun nirkabel. Fungsi dasar sistem komunikasi adalah melakukan proses transmisi informasi secara efisien dan andal (Sklar & Ray, 2021).

Secara fungsional, sistem komunikasi terdiri atas beberapa elemen utama, yaitu:

- 1) Transduser, berfungsi mengubah informasi fisik menjadi sinyal listrik atau sebaliknya.
- 2) Transmitter (Tx), bertugas mengolah dan memodulasi sinyal agar dapat dikirimkan melalui media transmisi.
- 3) Media/kanal transmisi, sebagai jalur penghantar sinyal dari pengirim ke penerima.



- 4) Receiver (Rx), berfungsi menerima sinyal, melakukan demodulasi, dan meneruskan informasi ke transduser keluaran (Proakis & Salehi, 2020).

b. Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan perangkat tampilan yang menggunakan sifat optik kristal cair untuk menampilkan informasi visual. LCD bekerja dengan memanfaatkan piksel-piksel kristal cair yang diatur sedemikian rupa sehingga dapat memodulasi cahaya dari sumber cahaya latar (backlight) untuk membentuk karakter, angka, maupun gambar (Poynton, 2021).

Kristal cair tidak memancarkan cahaya sendiri, melainkan mengatur polarisasi cahaya yang melewatinya. Ketika diberi tegangan listrik, orientasi molekul kristal cair berubah sehingga hanya warna tertentu yang dapat diteruskan, sementara warna lainnya disaring. Keunggulan LCD antara lain konsumsi daya yang rendah, ukuran yang tipis, dan kemampuannya menampilkan informasi secara jelas, sehingga banyak digunakan pada sistem embedded seperti mikrokontroler dan sensor parkir mobil (Chen et al., 2022).

c. Buzzer

Buzzer merupakan komponen elektronika yang berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi sinyal suara. Salah satu jenis buzzer yang paling umum digunakan adalah buzzer piezoelektrik, yang bekerja berdasarkan efek piezoelectric, yaitu kemampuan material tertentu untuk menghasilkan deformasi mekanik ketika diberi tegangan listrik (Fraden, 2020).

Ketika tegangan bolak-balik diberikan pada elemen piezoelectric, material tersebut akan bergetar dan menghasilkan gelombang suara. Getaran ini diperkuat oleh diafragma dan resonator sehingga menghasilkan bunyi yang dapat didengar oleh manusia. Buzzer banyak digunakan sebagai indikator peringatan pada sistem elektronik, termasuk sistem parkir mobil, karena responsnya cepat, konsumsi daya rendah, dan mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler (Kurniawan et al., 2023).

d. Light Emitting Diode (LED)

Light Emitting Diode (LED) merupakan komponen semikonduktor yang dapat memancarkan cahaya ketika dialiri arus listrik dengan polaritas maju. LED tersusun dari sambungan semikonduktor tipe P dan N yang menghasilkan emisi cahaya akibat rekombinasi elektron dan hole pada junction tersebut (Schubert, 2021).

LED memiliki keunggulan berupa ukuran yang kecil, efisiensi energi yang tinggi, umur pemakaian yang panjang (lebih dari 30.000 jam), serta kecepatan respons yang tinggi. Oleh karena itu, LED banyak digunakan sebagai indikator visual pada sistem elektronik, termasuk sebagai penanda jarak pada sistem sensor parkir mobil (Singh & Patel, 2022).

e. Mikrokontroler Arduino Uno

Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler berbasis ATmega328P yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem embedded dan prototyping. Arduino Uno memiliki 14 pin digital input/output, 6 pin analog input, serta kemampuan menghasilkan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) pada beberapa pin digital (Banzi & Shiloh, 2022).

Keunggulan Arduino Uno terletak pada kemudahan pemrograman, dukungan komunitas yang luas, serta kompatibilitas dengan berbagai sensor dan modul tambahan. Dengan kecepatan clock 16 MHz dan memori flash sebesar 32 KB, Arduino Uno mampu menangani pemrosesan data sensor ultrasonik dan mengendalikan output seperti LCD, LED, dan buzzer dalam sistem parkir mobil (Kadir, 2023).



f. Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan sensor jarak yang bekerja berdasarkan prinsip pemancaran dan penerimaan gelombang ultrasonik dengan frekuensi sekitar 40 kHz. Sensor ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu pemancar (transmitter) dan penerima (receiver), yang masing-masing menggunakan elemen piezoelectric (Zhang et al., 2020).

Sensor HC-SR04 mengukur jarak dengan menghitung waktu tempuh gelombang ultrasonik dari sensor ke objek dan kembali ke sensor. Jarak dihitung berdasarkan kecepatan rambat suara di udara. Sensor ini banyak digunakan dalam aplikasi sistem parkir mobil karena memiliki akurasi yang cukup baik, biaya rendah, serta kemudahan integrasi dengan mikrokontroler Arduino (Lee & Park, 2023).

Namun, kinerja sensor ultrasonik dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan karakteristik permukaan objek. Oleh karena itu, analisis dan kalibrasi sensor menjadi aspek penting dalam meningkatkan keandalan sistem parkir berbasis ultrasonik (Rahman et al., 2024).

3. METODE PENELITIAN

1). Identifikasi Masalah

Penelitian ini diawali dengan mengidentifikasi permasalahan dalam proses parkir mobil, yaitu risiko benturan akibat keterbatasan jarak pandang pengemudi. Permasalahan tersebut menjadi dasar perlunya sistem pengukur jarak yang dapat membantu pengemudi saat parkir.

2). Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari teori dan referensi yang berkaitan dengan sensor ultrasonik, Arduino Uno, LCD, LED, dan buzzer. Literatur juga mencakup penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan sistem parkir berbasis sensor ultrasonik.

3). Perancangan Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem parkir yang meliputi rancangan rangkaian dan alur kerja sistem. Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi jarak, sedangkan Arduino Uno berfungsi sebagai pengolah data dan pengendali output.

4). Implementasi Sistem

Implementasi dilakukan dengan merakit seluruh komponen sesuai perancangan dan memprogram Arduino Uno agar sistem dapat membaca jarak objek serta menampilkan hasilnya melalui LCD dan indikator peringatan.

5). Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan dengan mengukur jarak objek menggunakan sensor ultrasonik dan membandingkannya dengan jarak sebenarnya. Pengujian juga dilakukan untuk memastikan LCD, LED, dan buzzer berfungsi dengan baik.

6). Analisis dan Kesimpulan

Data hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui akurasi sistem. Berdasarkan hasil analisis tersebut, ditarik kesimpulan mengenai kinerja sistem serta diberikan saran untuk pengembangan selanjutnya.

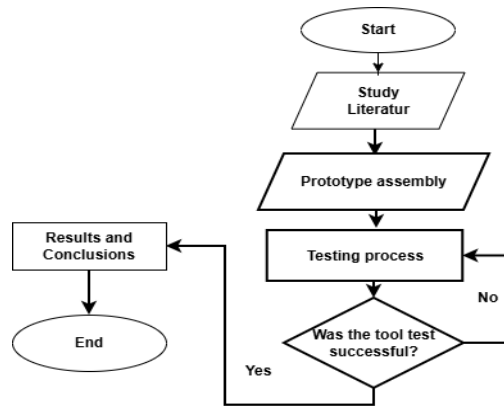
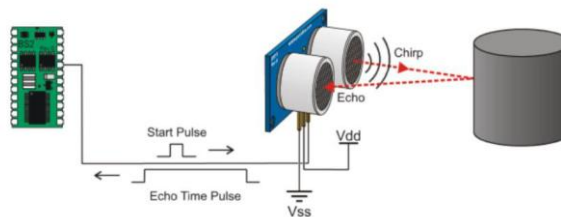


Figure: 1. flowchart.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

1). Pengujian Pembacaan Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan untuk mengetahui apakah sensor dapat bekerja dengan baik serta untuk mengukur tingkat akurasi pembacaan jarak. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor ultrasonik dengan jarak sebenarnya yang diukur menggunakan penggaris dalam satuan sentimeter (cm). Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai error dari sensor ultrasonik.



Gambar 1. Sensor Ultrasonik HC SR-04

Proses pengujian diawali dengan menghubungkan perangkat Wemos D1 R32 ke PC atau laptop melalui jaringan WiFi. Program yang telah dibuat kemudian dibuka menggunakan aplikasi Arduino IDE dan diunggah ke mikrokontroler. Setelah proses unggah selesai, serial monitor dibuka untuk menampilkan hasil pembacaan jarak dari sensor ultrasonik. Data jarak yang terbaca kemudian dicatat untuk dianalisis lebih lanjut. Nilai error sensor ultrasonik dihitung dengan membandingkan jarak hasil pengukuran sensor dengan jarak sebenarnya yang diukur menggunakan penggaris. Perhitungan error dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$Error(\%) = \left| \frac{Nilai\ Penggaris - Data\ Sensor}{Nilai\ Penggaris} \right| \times 100\%$$

$$Nilai\ Penggaris - Nilai\ Penggaris - Data\ Sensor \times 100\%$$

Nilai error dari setiap pengujian dicatat dan disajikan dalam bentuk tabel. Selanjutnya, nilai error rata-rata dihitung dengan menjumlahkan seluruh nilai error kemudian dibagi dengan jumlah pengujian yang dilakukan. Pengujian dilakukan pada tiga buah sensor ultrasonik dengan lima variasi jarak, yaitu 35 cm, 25 cm, 15 cm, 7 cm, dan 3 cm. Setiap sensor diuji sebanyak 30 kali pengukuran. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai rata-rata error pada masing-masing jarak untuk setiap sensor. Hasil menunjukkan bahwa rata-rata error pada ketiga sensor ultrasonik berada di bawah 10%, sehingga dapat dikatakan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang cukup baik. Selain itu, penerapan metode moving average pada

pembacaan data sensor terbukti mampu meningkatkan kestabilan dan akurasi hasil pengukuran jarak. Fluktuasi data dapat diminimalkan sehingga pembacaan sensor menjadi lebih konsisten.

2). Pengujian Kebenaran Jarak dan Sistem Paralel

Pengujian kebenaran jarak dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat bekerja secara paralel menggunakan satu mikrokontroler untuk tiga lahan parkir. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah ketiga sensor ultrasonik dapat membaca jarak secara bersamaan dan apakah buzzer dapat memberikan peringatan sesuai dengan pengaturan jarak yang telah ditentukan. Sistem memiliki tiga level jarak default, yaitu level aman (jarak lebih dari 30 cm) dengan kondisi buzzer mati, level sedang (jarak 15–30 cm) dengan buzzer berbunyi setiap 1 detik, dan level bahaya (jarak 5–15 cm) dengan buzzer berbunyi setiap 0,5 detik. Jika jarak sangat dekat, buzzer akan berbunyi terus-menerus sebagai tanda peringatan berhenti.

Pengujian dilakukan secara bersamaan pada tiga lahan parkir dengan berbagai posisi mobil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara paralel dengan baik. Pembacaan jarak pada setiap sensor sesuai dengan kondisi sebenarnya, dan buzzer memberikan respon yang tepat sesuai dengan level jarak yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem parkir berbasis sensor ultrasonik yang dirancang mampu bekerja secara akurat dan paralel, sehingga dapat digunakan oleh beberapa pengendara secara bersamaan tanpa terjadi gangguan pada sistem. Berikut tabel hasil perhitungan yang ringkas dan rapi, fokus pada nilai rata-rata error (%):

Tabel 4.2 Ringkasan Hasil Perhitungan Error Sensor Ultrasonik 1

Jarak Aktual (cm)	Rata-rata Pembacaan Sensor (cm)	Rata-rata Error (%)	Kondisi Buzzer
35	≈ 35,0	0,87 %	Mati
25	≈ 23,5	5,96 %	Bunyi 1 detik
15	≈ 14,4	3,73 %	Bunyi 0,5 detik
7	≈ 7,0	0,52 %	Bunyi 0,5 detik
3	≈ 3,2	7,77 %	Bunyi terus

Berdasarkan tabel hasil perhitungan yang telah disajikan, dapat diketahui bahwa ketiga sensor ultrasonik menunjukkan performa yang cukup baik dalam mengukur jarak objek. Pengujian dilakukan pada lima variasi jarak, yaitu 35 cm, 25 cm, 15 cm, 7 cm, dan 3 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata nilai error pada seluruh sensor berada di bawah 10%, yang menandakan bahwa sensor ultrasonik layak digunakan sebagai sensor parkir mobil.

Pada sensor ultrasonik 1, nilai rata-rata error terendah diperoleh pada jarak 7 cm sebesar 0,52%, sedangkan nilai error tertinggi terjadi pada jarak 3 cm sebesar 7,77%. Peningkatan error pada jarak yang sangat dekat disebabkan oleh keterbatasan sensor ultrasonik dalam mendeteksi objek pada jarak minimum serta adanya pantulan gelombang yang tidak stabil. Meskipun demikian, nilai error tersebut masih berada dalam batas toleransi.

Tabel 4.3 Ringkasan Hasil Perhitungan Error Sensor Ultrasonik 2

Jarak Aktual (cm)	Rata-rata Pembacaan Sensor (cm)	Rata-rata Error (%)	Kondisi Buzzer
35	≈ 35,0	1,28 %	Mati



25	25,0	0 %	Bunyi 1 detik
15	≈ 14,9	0,93 %	Bunyi 0,5 detik
7	≈ 7,0	0,52 %	Bunyi 0,5 detik
3	≈ 3,2	6 %	Bunyi terus

Pada sensor ultrasonik 2, hasil pengujian menunjukkan performa yang lebih stabil dibandingkan sensor lainnya. Nilai rata-rata error terendah mencapai 0% pada jarak 25 cm, sedangkan error tertinggi sebesar 6% terjadi pada jarak 3 cm. Hal ini menunjukkan bahwa sensor ultrasonik 2 memiliki tingkat konsistensi pembacaan yang baik, terutama pada jarak menengah, sehingga sangat sesuai digunakan pada sistem parkir.

Tabel 4.4 Ringkasan Hasil Perhitungan Error Sensor Ultrasonik 3

Jarak Aktual (cm)	Rata-rata Pembacaan Sensor (cm)	Rata-rata Error (%)	Kondisi Buzzer
35	≈ 35,2	0,57 %	Mati
25	≈ 25,1	0,49 %	Bunyi 1 detik
15	≈ 15,2	1,30 %	Bunyi 0,5 detik
7	≈ 7,3	4,16 %	Bunyi 0,5 detik
3	≈ 3,1	3,39 %	Bunyi terus

Sementara itu, sensor ultrasonik 3 menunjukkan nilai rata-rata error terendah sebesar 0,49% pada jarak 25 cm dan nilai error tertinggi sebesar 4,16% pada jarak 7 cm. Perbedaan nilai error pada setiap jarak menunjukkan adanya pengaruh kondisi lingkungan dan karakteristik pantulan objek terhadap hasil pembacaan sensor. Namun, secara keseluruhan sensor ini tetap memiliki tingkat akurasi yang baik.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Rata-rata Error Seluruh Sensor

Sensor Ultrasonik	Error Minimum (%)	Error Maksimum (%)	Keterangan
Sensor 1	0,52 %	7,77 %	Akurat
Sensor 2	0 %	6 %	Sangat akurat
Sensor 3	0,49 %	4,16 %	Akurat

Berdasarkan rekapitulasi rata-rata error dari ketiga sensor, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode moving average pada pengolahan data sensor berhasil meningkatkan kestabilan dan akurasi pembacaan jarak. Fluktuasi data dapat diminimalkan sehingga sistem mampu memberikan informasi jarak yang lebih konsisten kepada pengemudi.

Selain itu, hasil pengujian sistem paralel menunjukkan bahwa ketiga sensor dapat bekerja secara bersamaan menggunakan satu mikrokontroler tanpa mengalami gangguan. Respon buzzer pada setiap level jarak juga berjalan sesuai dengan pengaturan yang telah ditentukan, sehingga sistem parkir dapat memberikan peringatan yang tepat berdasarkan jarak kendaraan terhadap objek. Secara keseluruhan, hasil pembahasan tabel menunjukkan bahwa sistem pengukur jarak berbasis sensor ultrasonik yang dirancang memiliki tingkat akurasi yang baik,

respon yang sesuai, serta mampu bekerja secara paralel. Dengan demikian, sistem ini dapat diimplementasikan sebagai sensor parkir mobil yang efektif dan andal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis sistem pengukur jarak menggunakan gelombang ultrasonik sebagai sensor parkir mobil, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: Sistem parkir berbasis sensor ultrasonik yang dirancang mampu mendeteksi jarak objek dengan baik dan menampilkan informasi jarak secara real-time melalui LCD serta memberikan peringatan menggunakan buzzer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketiga sensor ultrasonik memiliki tingkat akurasi yang cukup baik, dengan nilai rata-rata error pada seluruh jarak pengujian berada di bawah 10%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor ultrasonik layak digunakan sebagai sensor parkir mobil. Penerapan metode moving average pada pembacaan data sensor terbukti mampu meningkatkan kestabilan dan akurasi pengukuran jarak dengan mengurangi fluktuasi data. Sistem mampu bekerja secara paralel menggunakan satu mikrokontroler untuk tiga lahan parkir tanpa mengalami gangguan, sehingga dapat digunakan oleh beberapa kendaraan secara bersamaan. Respon buzzer pada setiap level jarak telah berjalan sesuai dengan pengaturan yang ditentukan, sehingga dapat memberikan peringatan yang tepat kepada pengemudi saat jarak kendaraan dengan objek semakin dekat.

DAFTAR REFERENSI

- [1]. Anisah, S., Tharo, Z., Hamdani, H., & Butar, A. K. B. (2023). Optimization Analysis Of Solar And Wind Power Hybrid Power Plant Systems. *Prosiding Universitas Dharmawangsa*, 3(1), 614-624.
- [2]. Hamdani, H., Sastra, A., & Firmansyah, D. (2023). Kajian Pembangunan Lift Barang Pintar Kapasitas 50 Kg Dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, 6(1), 429-433.
- [3]. Hamdani, H., Tharo, Z., Anisah, S., & Lubis, S. A. (2020, September). Rancang Bangun Inverter Gelombang Sinus Termodifikasi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Rumah Tinggal. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (SEMNASTEK)* (Vol. 3, No. 1, pp. 156-162).
- [4]. Tharo, Z., Hamdani, H., & Andriana, M. (2019, May). Pembangkit listrik hybrid tenaga surya dan angin sebagai sumber alternatif menghadapi krisis energi fosil di sumatera. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (SEMNASTEK)* (Vol. 2, No. 1, pp. 141-144).
- [5]. Tharo, Z., Hamdani, H., Andriana, M., & Yusar, J. H. (2022). Implementasi genset ramah lingkungan berbasis panel surya di Desa Tomuan Holbung. *Jurnal Derma Pengabdian Dosen Perguruan Tinggi (Jurnal Deputy)*, 2(2), 98-101.
- [6]. Tharo, Z., Syahputra, M. R., Hamdani, H., & Sugino, B. (2020). Analisis Sistem Proteksi Jaringan Tegangan Menengah Menggunakan Aplikasi Etap Di Bandar Udara Internasional Kualanamu. *JOURNAL OF ELECTRICAL AND SYSTEM CONTROL ENGINEERING*, 4(1), 33-42.
- [7]. Wibowo, P., Lubis, S. A., & Hamdani, Z. T. (2017). Smart home security system design sensor based on pir and microcontroller. *International Journal of Global Sustainability*, 1(1), 67-73.
- [8]. Yusup, M. (2022). Teknologi Radio Frequency Identification (RFID) sebagai tools system pembuka pintu otomatis pada smart house. *Jurnal Media Infotama*, 18(2), 367-



- 373.
- [9]. Yusup, M., Siahaan, M. D. L., & Raihan, M. (2025). Rancang Bangun Sistem Informasi Manajemen Sampah Berbasis Digital untuk Meningkatkan Efisiensi Layanan Kebersihan di Desa Pematang Serai. *Jurnal Komputer Teknologi Informasi Sistem Informasi (JUKTISI)*, 4(2), 1377-1386.
 - [10]. Banzi, M., & Shiloh, M. (2022). *Getting Started with Arduino* (4th ed.). Maker Media.
 - [11]. Chen, Y., Liu, H., & Wang, Z. (2022). Embedded display technologies for smart systems. *Sensors*, 22(14), 5310.
 - [12]. Fraden, J. (2020). *Handbook of Modern Sensors* (5th ed.). Springer.
 - [13]. Haykin, S. (2020). *Communication Systems* (6th ed.). Wiley.
 - [14]. Kadir, A. (2023). *Pemrograman Arduino dan Mikrokontroler*. Andi Publisher.
 - [15]. Kurniawan, D., Putra, A., & Santoso, B. (2023). Design of warning system using piezo buzzer in embedded applications. *Journal of Embedded Systems*, 7(2), 45–52.
 - [16]. Lee, H., & Park, S. (2023). Performance evaluation of ultrasonic sensors for automotive applications. *Journal of Sensor Technology*, 12(3), 118–127.
 - [17]. Poynton, C. (2021). *Digital Video and Display Technology*. Morgan Kaufmann.
 - [18]. Rahman, M. A., et al. (2024). Smart parking system based on ultrasonic sensors and microcontroller. *International Journal of Smart Vehicle Systems*, 6(1), 1–12.
 - [19]. Schubert, E. F. (2021). *Light-Emitting Diodes* (3rd ed.). Cambridge University Press.
 - [20]. Zhang, Y., Wang, J., & Li, Q. (2020). Ultrasonic distance measurement for automotive sensing applications. *Sensors*, 20(17), 4867

