

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM INSTRUMENTASI PADA ROBOT MINIATUR *AUTONOMOUS* BERBASIS ARDUINO MEGA DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK HC-SR04

Abdul Azis Rizali Nur Dwi Sahid, Ramdan Haerullah,
Zaky Hanafian Alhuda, Arnisa Stefanie, Dian Budhi Santoso

Teknik Elektro, Universitas Singaperbangsa Karawang
Jl. HS.Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361
2210631160074@student.unsika.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi robotika dan instrumentasi mendorong penggunaan robot miniatur *autonomous* sebagai media pembelajaran dan implementasi sistem kendali otomatis. Permasalahan yang sering ditemukan pada robot miniatur *autonomous* adalah keterbatasan sistem navigasi dalam mendeteksi objek dan menentukan arah gerak secara mandiri. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem instrumentasi pada robot miniatur *autonomous* berbasis Arduino Mega dengan menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi jarak objek. Metode penelitian dilakukan melalui perancangan perangkat keras, pembuatan diagram blok dan diagram alir sistem, implementasi program pada Arduino Mega, serta pengujian sensor pada berbagai variasi jarak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik mampu mendeteksi objek secara optimal pada rentang jarak 4 cm hingga 20 cm. Sistem robot juga mampu bekerja secara *autonomous* dengan menerapkan metode *obstacle avoidance*, yaitu berhenti, melakukan pemindaian menggunakan motor servo, dan menentukan arah gerak berdasarkan kondisi lingkungan. Namun, pada jarak di atas 20 cm sensor mengalami penurunan kemampuan deteksi akibat melemahnya pantulan gelombang ultrasonik.

Kata kunci : *Arduino Mega, Sensor Ultrasonik, Robot Autonomous , Obstacle avoidance, Instrumentasi*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomasi dan robotika dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan tren peningkatan yang signifikan, khususnya dalam pengembangan robot mobile *autonomous* sebagai media pembelajaran dan implementasi sistem instrumentasi [1].

Pada robot miniatur *autonomous* merupakan sistem yang mampu bekerja secara mandiri dengan memanfaatkan data dari sensor untuk melakukan pengambilan keputusan tanpa keterlibatan langsung manusia.

Dalam sistem robotika modern, instrumentasi memegang peranan yang sangat penting karena mencakup kegiatan pengukuran, pemrosesan data, serta pengendalian sistem yang saling terintegrasi. Sensor digunakan untuk memperoleh data dari lingkungan sekitar, mikrokontroler berperan sebagai pusat pengolah informasi, sedangkan aktuator bertugas menjalankan tindakan atau respons berdasarkan hasil pemrosesan yang dilakukan sistem.[2].

Salah satu sensor yang banyak digunakan pada robot miniatur adalah sensor ultrasonik HC-SR04 yang bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang ultrasonik untuk mengukur jarak objek [3].

Permasalahan yang umum terjadi pada robot miniatur *autonomous* adalah terbatasnya kemampuan robot dalam mengenali objek serta menentukan arah gerak secara mandiri. Di samping itu, sistem navigasi pada robot sederhana masih perlu dikembangkan agar mampu merespons hambatan dengan lebih cepat, akurat, dan secara real-time. Oleh sebab itu,

dibutuhkan sistem instrumentasi yang dapat menunjang proses pendeteksian objek sekaligus membantu pengambilan keputusan navigasi robot secara otomatis.[4]

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang serta mengimplementasikan robot miniatur *autonomous* berbasis Arduino Mega yang memanfaatkan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi jarak terhadap objek di sekitarnya. Sistem dikembangkan dengan metode *obstacle avoidance*, yaitu robot dapat mengenali adanya rintangan, menghentikan pergerakan sementara, melakukan pemindaian arah menggunakan motor servo, lalu memilih jalur yang dianggap lebih aman untuk dilalui [5].

Selain itu, penelitian ini juga difokuskan pada peningkatan kemampuan navigasi robot agar mampu merespons kondisi lingkungan secara otomatis dan real-time melalui proses pengolahan data sensor oleh mikrokontroler Arduino Mega[6].

Penggunaan sensor ultrasonik pada robot *autonomous* dinilai cukup efektif dalam mendukung pendeteksian objek jarak dekat karena memiliki tingkat akurasi yang baik serta mudah diintegrasikan dengan sistem kendali berbasis mikrokontroler[7].

Rencana penyelesaian masalah pada penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap, meliputi perancangan perangkat keras, pembuatan diagram alir sistem kerja robot, implementasi program pada mikrokontroler Arduino Mega, serta pengujian sistem untuk mendeteksi objek pada berbagai variasi jarak. Selanjutnya, hasil pengujian dianalisis guna mengevaluasi kinerja sensor serta kemampuan

navigasi robot dalam beroperasi secara autonomous[8].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini dijelaskan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai dasar teoritis dalam penelitian. Tinjauan pustaka meliputi penelitian terdahulu serta teori mengenai beberapa komponen pendukung yang digunakan dalam perancangan sistem robot miniatur *autonomous*, seperti Arduino Mega, motor servo, motor DC, sensor ultrasonik HC-SR04, dan motor driver L298N. Adapun penjelasan masing-masing komponen dijabarkan sebagai berikut ini;

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian terkait robot miniatur *autonomous* berbasis sensor ultrasonik telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Yasin [9].

Mengembangkan sistem *collision avoidance* menggunakan sensor ultrasonik pada robot *autonomous* dengan memanfaatkan data jarak sebagai dasar dalam menentukan keputusan navigasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik mampu mendeteksi objek dengan cukup baik pada sistem robot bergerak.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Baballe . [4]. Yang merancang robot *obstacle avoidance* berbasis Arduino dan sensor ultrasonik HC-SR04. Pada penelitian tersebut, robot dapat bergerak secara otomatis dengan mendeteksi objek di depannya, kemudian mengubah arah gerak untuk menghindari tabrakan.

Selanjutnya, Wibowo dan Triyanto [10]. mengembangkan *robot car* berbasis Arduino menggunakan sensor HC-SR04 dengan metode *fuzzy logic controller*. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa sistem navigasi robot dapat bekerja secara otomatis berdasarkan data jarak yang diperoleh dari sensor ultrasonik.

Selain itu, Thejas dkk. [5] mengimplementasikan sistem robot *line follower* dan *obstacle avoidance* menggunakan Arduino, motor driver L298N, serta sensor ultrasonik. Sistem tersebut mampu mengendalikan arah dan pergerakan robot secara otomatis sesuai dengan kondisi lingkungan di sekitarnya. Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut, penelitian ini memiliki perbedaan pada penggunaan Arduino Mega sebagai pusat kendali utama serta penerapan sistem navigasi sederhana berbasis sensor ultrasonik dan motor servo pada robot miniatur *autonomous*. Selain itu, penelitian ini juga difokuskan pada analisis kemampuan sensor ultrasonik dalam mendeteksi objek pada berbagai variasi jarak sebagai bagian dari sistem instrumentasi robot.

2.2. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan papan mikrokontroler berbasis ATmega2560 yang digunakan sebagai pusat pengendali utama (*main*

controller) dalam sistem robot miniatur *autonomous* pada penelitian ini. Arduino merupakan platform elektronik *open-source* yang mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak sehingga memudahkan proses perancangan dan pemrograman sistem [2].

Arduino Mega 2560 memiliki keunggulan berupa jumlah pin input-output yang lebih banyak dibandingkan seri Arduino lainnya, sehingga mampu digunakan pada sistem dengan tingkat kompleksitas yang lebih tinggi. Board ini dilengkapi dengan 54 pin digital, termasuk 15 pin PWM, 16 pin analog, serta fitur komunikasi serial yang mendukung integrasi berbagai sensor dan aktuator. Selain itu, Arduino Mega 2560 juga memiliki kristal osilator 16 MHz, antarmuka USB, dan catu daya pendukung untuk menunjang kinerja sistem. Dengan spesifikasi tersebut, Arduino Mega 2560 sangat cocok diterapkan pada sistem robot miniatur *autonomous* yang menggabungkan sensor ultrasonik, driver motor L298N, motor DC, dan motor servo dalam satu kesatuan sistem kendali [11].

2.3. Motor Servo

Motor servo merupakan aktuator yang digunakan untuk mengatur posisi sudut secara presisi dalam suatu sistem kendali. Motor ini bekerja menggunakan sistem closed-loop dengan memanfaatkan umpan balik posisi untuk menentukan sudut akhir pergerakan [12].

Secara umum, motor servo terdiri dari motor DC, rangkaian roda gigi, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Pengendalian dilakukan menggunakan sinyal PWM (Pulse Width Modulation), di mana lebar pulsa menentukan besar sudut putaran poros motor. Dalam aplikasi robot miniatur *autonomous*, motor servo digunakan untuk mengarahkan sensor ultrasonik sehingga dapat melakukan pemindaian lingkungan secara lebih luas

2.4. Sensor Ultrasonik HC SR-04

Sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan salah satu jenis sensor yang digunakan untuk mengukur jarak suatu objek dengan memanfaatkan prinsip pantulan gelombang suara ultrasonik. Sensor ini tergolong praktis karena dalam satu modul telah terintegrasi komponen utama, yaitu pemancar (*transmitter*), penerima (*receiver*), serta rangkaian pengolah sinyal, sehingga memudahkan dalam proses penggunaan dan integrasi dengan mikrokontroler seperti Arduino. Sensor HC-SR04 memiliki kemampuan pengukuran jarak yang cukup baik, yaitu dalam rentang sekitar 2 cm hingga 400 cm, dengan tingkat akurasi yang relatif tinggi. Sensor ini bekerja dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik berfrekuensi sekitar 40 kHz ke arah objek, kemudian menerima kembali pantulan gelombang tersebut melalui bagian penerima. Selisih waktu antara gelombang yang dipancarkan dan yang diterima kembali digunakan sebagai dasar untuk menghitung jarak objek dari sensor [3].

Dalam sistem robot miniatur *autonomous*, sensor ini dimanfaatkan sebagai pendeteksi keberadaan objek di sekitar robot ini, terutama pada bagian depan. Data jarak yang diperoleh kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk membantu robot dalam menentukan arah pergerakan, seperti bergerak maju, berhenti, atau menghindari rintangan. Dengan demikian, sensor ultrasonik HC-SR04 berperan penting dalam mendukung sistem navigasi sederhana pada robotnya [10].

2.5. Motor DC

Motor DC merupakan komponen aktuator yang berfungsi mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik berupa putaran. Motor ini banyak digunakan dalam sistem robotika karena mudah dikendalikan dan memiliki performa yang cukup baik dalam menghasilkan gerakan [13].

Pada robot miniatur *autonomous*, motor DC digunakan sebagai penggerak roda sehingga robot dapat berpindah posisi. Kecepatan putaran motor dapat diatur sesuai kebutuhan, misalnya untuk bergerak maju, berbelok, atau berhenti. Pengaturan kecepatan ini biasanya dilakukan dengan mengubah besar tegangan atau menggunakan sinyal PWM dari mikrokontroler.

2.6. Motor Driver L298N

Motor driver merupakan komponen yang berfungsi sebagai penghubung antara mikrokontroler dan motor DC pada sistem robotika. Dalam penelitian ini digunakan motor driver L298N yang bertugas mengendalikan arah serta kecepatan putaran motor. Modul tersebut bekerja dengan menerima sinyal digital dari Arduino, kemudian mengonversinya menjadi tegangan dan arus yang sesuai agar motor dapat beroperasi secara optimal. Motor driver L298N menerapkan prinsip H-Bridge yang memungkinkan motor DC bergerak dalam dua arah, yaitu maju dan mundur. Selain itu, pengaturan kecepatan motor dilakukan menggunakan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dihasilkan oleh mikrokontroler [14].

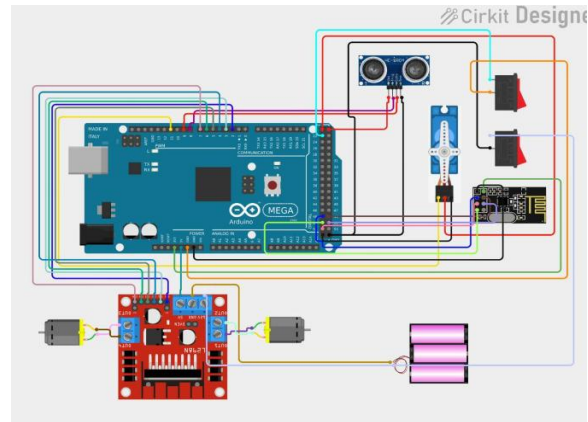
Dengan pengaturan tersebut, motor dapat bergerak secara lebih halus dan terkontrol sesuai kebutuhan sistem. Dalam aplikasi robot miniatur *autonomous*, motor driver berperan penting dalam mengendalikan pergerakan robot berdasarkan data yang diperoleh dari sensor. Arduino akan mengirimkan sinyal kontrol ke driver, kemudian driver meneruskannya ke motor DC untuk menghasilkan gerakan seperti maju, berhenti, atau berbelok guna menghindari rintangan.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini meliputi perancangan sistem robot miniatur *autonomous* serta penyusunan diagram alir sebagai acuan dalam proses kerja sistem.

3.1. Perancangan Perangkat Keras Sistem

Perancangan sistem robot miniatur *autonomous* direalisasikan dalam bentuk rangkaian perangkat keras yang mengintegrasikan mikrokontroler, sensor, serta aktuator, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1. berikut.



Gambar 1. Rangkaian sistem keseluruhan

Pada gambar 1. Memperlihatkan konfigurasi sistem rangkaian robot miniatur *autonomous* rangkaian ini dirancang untuk mendukung proses deteksi objek pengendalian pergerakan robot secara *autonomous*.

Untuk memperjelas hubungan antara komponen serta koneksi pin yang digunakan pada sistem robot ini, disajikan komponen konfigurasi pin pada tabel 1. Sebagai berikut;

Tabel 1. Pin konfigurasi rangkaian

Komponen	Pin Komponen	Pin Arduino Mega	Keterangan
Sensor Ultrasonik HC-SR04	VCC	5V	Sumber tegangan
	GND	GND	Ground
	Trig	Pin 9	Trigger gelombang
	Echo	Pin 8	Menerima pantulan
Motor Servo	VCC	5V	Sumber tegangan
	GND	GND	Ground
	Signal	Pin 10	Kontrol sudut servo
Motor Driver L298N	IN1	Pin 5	Kontrol motor kiri
	IN2	Pin 6	Kontrol motor kiri
	IN3	Pin 7	Kontrol motor kanan
	IN4	Pin 4	Kontrol motor kanan
	ENA	Pin 3 (PWM)	Kecepatan motor kiri
	ENB	Pin 2 (PWM)	Kecepatan motor kanan
	VCC	12V (Battery)	Supply motor
	GND	GND	Ground

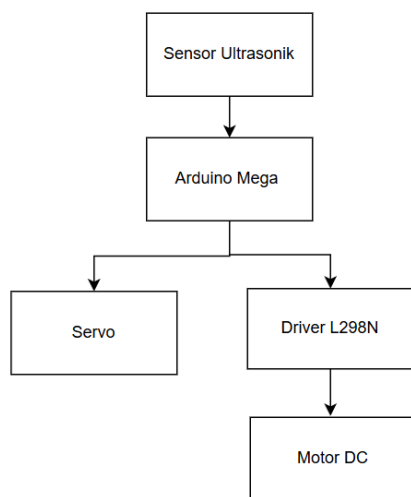
Komponen	Pin Komponen	Pin Arduino Mega	Keterangan
Motor DC Kiri	Output L298N	OUT1 & OUT2	Penggerak roda kiri
Motor DC Kanan	Output L298N	OUT3 & OUT4	Penggerak roda kanan
Power Supply	+	Vin / L298N	Sumber daya
	-	GND	Ground sistem

Memperlihatkan konfigurasi rangkaian pada sistem robot miniatur *autonomous* yang dikembangkan dalam penelitian ini. Sistem ini menggunakan Arduino Mega sebagai unit pengendali utama, sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai perangkat masukan untuk mendeteksi jarak objek, serta motor driver L298N yang berfungsi mengontrol motor DC sebagai penggerak roda robot. Selain itu, motor servo dimanfaatkan untuk mengarahkan posisi sensor ultrasonik dalam proses pemindaian lingkungan [5].

Setiap komponen dirangkai sesuai dengan perannya dalam sistem, di mana Arduino berfungsi menerima dan mengolah data dari sensor, kemudian menghasilkan sinyal kendali yang dikirimkan ke motor driver dan aktuator lainnya. Dengan susunan rangkaian tersebut, sistem robot dapat bekerja secara terkoordinasi dalam mendeteksi keberadaan objek serta mengatur pergerakan secara otomatis [15].

3.2. Diagram Blok

Diagram blok sistem digunakan untuk menggambarkan hubungan dan alur kerja antar komponen pada robot miniatur *autonomous* yang dirancang dalam penelitian ini pada gambar berikut.



Gambar 2. Diagram Blok

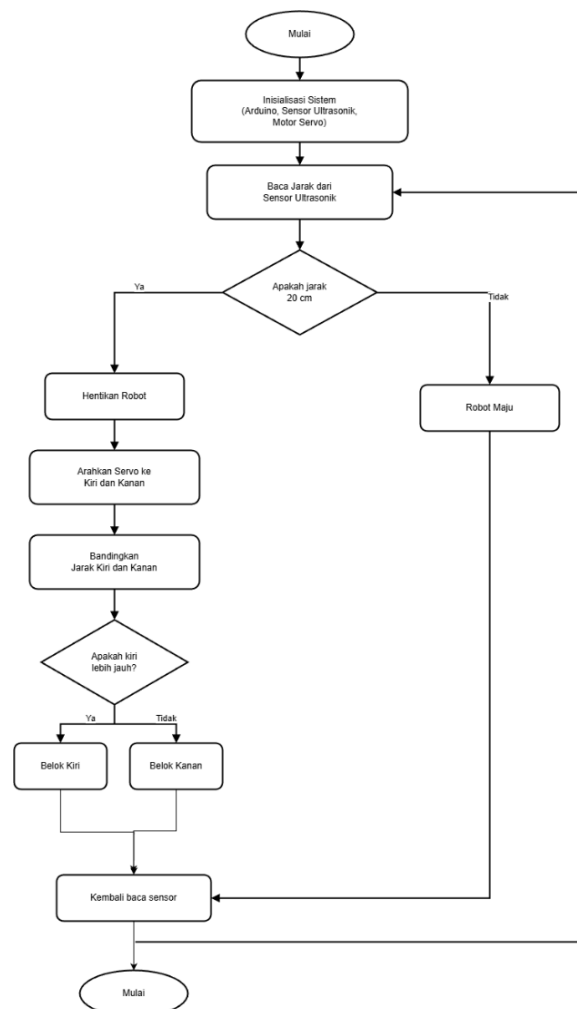
Pada gambar 2. Menggambarkan sistem blok diagram dapat di gunakan sebagai hubungan antar komponen utama pada robot miniatur *autonomous* yang dirancang dalam penelitian ini. Diagram ini menunjukkan alur kerja sistem mulai dari proses pembacaan data oleh sensor ultrasonik, pengolahan

data oleh Arduino Mega sebagai pusat kendali, hingga pengiriman sinyal kendali ke motor driver dan aktuator lainnya.

Pada sistem ini, sensor ultrasonik HC-SR04 berfungsi sebagai perangkat input untuk mendeteksi jarak objek di sekitar robot. Data hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh Arduino Mega untuk menentukan respon pergerakan robot. Selanjutnya, sinyal kendali diteruskan ke motor driver L298N untuk mengatur pergerakan motor DC, sedangkan motor servo digunakan untuk mengarahkan posisi sensor ultrasonik saat proses pemindaian lingkungan berlangsung. Dengan konfigurasi tersebut, sistem robot dapat bekerja secara terintegrasi dalam melakukan navigasi dan menghindari rintangan secara otomatis.

3.3. Diagram Alir

Untuk memperjelas mekanisme kerja sistem yang dirancang, diagram alir digunakan sebagai representasi alur proses mulai dari inisialisasi sistem, pembacaan sensor, hingga pengambilan keputusan dalam navigasi robot.



Gambar 3. Diagram alir

Pada gambar 2. diagram alir sistem robot miniatur *autonomous* yang dimulai dari tahap inisialisasi seluruh komponen, yaitu Arduino, sensor ultrasonik, motor DC, dan motor servo. Selanjutnya, sensor ultrasonik membaca jarak objek di depan robot dan data tersebut diproses oleh mikrokontroler [8].

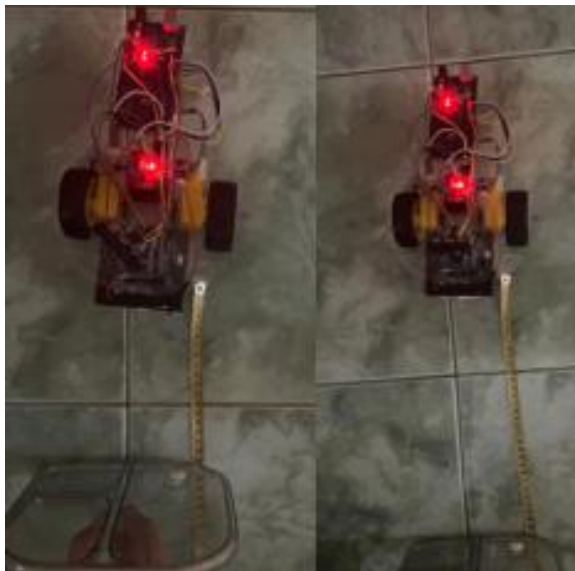
Apabila jarak objek lebih kecil dari batas yang ditentukan, robot akan berhenti dan melakukan pemindaian menggunakan servo ke arah kiri dan kanan. Hasil pembacaan tersebut dibandingkan untuk menentukan arah pergerakan robot, yaitu ke kiri atau ke kanan. Sebaliknya, jika tidak terdapat halangan, robot akan bergerak maju. Proses ini dilakukan secara berulang (*looping*) sehingga robot dapat bergerak secara *autonomous* dalam menghindari rintangan [4].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini disajikan hasil pengujian sistem robot miniatur *autonomous* yang telah dirancang, serta dilakukan analisis terhadap kinerja sensor dan sistem secara keseluruhan. Pembahasan difokuskan pada kemampuan sensor ultrasonik dalam mendeteksi jarak objek serta pengaruhnya terhadap pergerakan robot.

4.1. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

Pada hasil pengukuran sensor ultrasonik, dilakukan pengujian secara langsung dengan menggunakan alat ukur berupa meteran sebagai pembanding jarak objek terhadap robot. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara jarak sebenarnya dengan hasil deteksi yang dilakukan oleh sistem robot miniatur *autonomous*.



Gambar 4. Proses pengukuran jarak dengan robot miniature *autonomous*

Gambar menunjukkan proses pengukuran jarak antara robot dan objek menggunakan meteran sebagai acuan untuk memvalidasi hasil deteksi sensor.

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui kinerja sensor ultrasonik HC-SR04 dalam mendeteksi objek pada berbagai jarak. Pengujian dilakukan

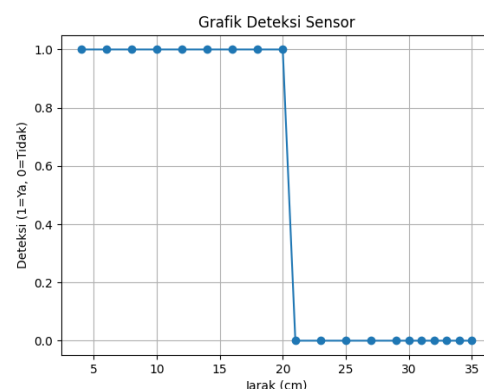
sebanyak 20 kali dengan variasi jarak mulai dari 4 cm hingga 35 cm.

Tabel 2. Data percobaan

No Percobaan	Jarak Percobaan	Berhasil Terdeteksi/Tidak Terdeteksi
Percobaan 1	4 cm	Berhasil Terdeteksi
Percobaan 2	6 cm	Berhasil Terdeteksi
Percobaan 3	8 cm	Berhasil Terdeteksi
Percobaan 4	10 cm	Berhasil Terdeteksi
Percobaan 5	12 cm	Berhasil Terdeteksi
Percobaan 6	14 cm	Berhasil Terdeteksi
Percobaan 7	16 cm	Berhasil Terdeteksi
Percobaan 8	18 cm	Berhasil Terdeteksi
Percobaan 9	20 cm	Berhasil Terdeteksi
Percobaan 10	21 cm	Tidak Terdeteksi
Percobaan 11	23 cm	Tidak Terdeteksi
Percobaan 12	25 cm	Tidak Terdeteksi
Percobaan 13	27 cm	Tidak Terdeteksi
Percobaan 14	29 cm	Tidak Terdeteksi
Percobaan 15	30 cm	Tidak Terdeteksi
Percobaan 16	31 cm	Tidak Terdeteksi
Percobaan 17	32 cm	Tidak Terdeteksi
Percobaan 18	33 cm	Tidak Terdeteksi
Percobaan 19	34 cm	Tidak Terdeteksi
Percobaan 20	35 cm	Tidak Terdeteksi

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 2, sensor mampu mendeteksi objek dengan baik pada rentang jarak 4 cm hingga 20 cm. Namun, pada jarak di atas 20 cm, sensor tidak lagi mampu mendeteksi objek. Hal ini menunjukkan bahwa batas efektif deteksi sensor pada sistem yang dirancang berada pada jarak maksimum sekitar 20 cm.

Untuk memperjelas hasil pengujian tersebut, ditampilkan grafik hubungan antara jarak objek dan status deteksi sensor pada Gambar.



Gambar 5. Grafik deteksi sensor

Gambar 5 menunjukkan grafik deteksi sensor yang menghubungkan antara jarak objek terhadap kemampuan deteksi sensor ultrasonik. Pada grafik tersebut, nilai 1 menunjukkan bahwa objek berhasil terdeteksi, sedangkan nilai 0 menunjukkan objek tidak terdeteksi.

Terlihat bahwa pada rentang jarak 4 cm hingga 20 cm, sensor mampu mendeteksi objek secara stabil,

yang ditunjukkan dengan nilai deteksi sebesar 1. Namun, setelah melewati jarak 20 cm, terjadi penurunan secara drastis menjadi nilai 0, yang menunjukkan bahwa sensor tidak lagi mampu mendeteksi objek.

Perubahan yang tajam pada grafik tersebut menunjukkan adanya batas kerja sensor yang cukup jelas. Hal ini disebabkan oleh melemahnya pantulan gelombang ultrasonik pada jarak yang lebih jauh, sehingga sinyal yang diterima sensor tidak cukup kuat untuk diproses oleh sistem.

Dengan demikian, grafik ini memperkuat hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2, bahwa sensor ultrasonik yang digunakan dalam sistem robot miniatur ini lebih optimal untuk aplikasi deteksi jarak dekat (*short-range detection*), dengan batas efektif sekitar 20 cm.

4.2. Perhitungan dan Analisa Data

Perhitungan jarak pada sensor ultrasonik didasarkan pada waktu tempuh gelombang suara yang dipantulkan oleh objek, yang dinyatakan dengan persamaan:

$$t = \frac{2d}{v} \quad (1)$$

Dengan $v = 0.034 \text{ cm}/\mu\text{s}$

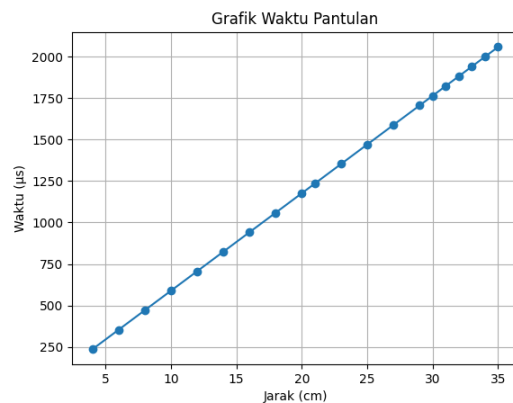
Tabel 3. Perhitungan waktu pantulan

No	Jarak (cm)	Perhitungan Waktu Pantulan	Waktu (μs)	Status
1	4	$t = \frac{2(4)}{0,034}$	235,29	Terdeteksi
2	6	$t = \frac{2(6)}{0,034}$	352,94	Terdeteksi
3	8	$t = \frac{2(8)}{0,034}$	470,59	Terdeteksi
4	10	$t = \frac{2(10)}{0,034}$	588,24	Terdeteksi
5	12	$t = \frac{2(12)}{0,034}$	705,88	Terdeteksi
6	14	$t = \frac{2(14)}{0,034}$	823,53	Terdeteksi
7	16	$t = \frac{2(16)}{0,034}$	941,18	Terdeteksi
8	18	$t = \frac{2(18)}{0,034}$	1058,82	Terdeteksi
9	20	$t = \frac{2(20)}{0,034}$	1176,47	Terdeteksi
10	21	$t = \frac{2(21)}{0,034}$	1235,29	Tidak terdeteksi
11	23	$t = \frac{2(23)}{0,034}$	1352,94	Tidak terdeteksi
12	25	$t = \frac{2(25)}{0,034}$	1470,59	Tidak terdeteksi
13	27	$t = \frac{2(27)}{0,034}$	1588,24	Tidak terdeteksi

No	Jarak (cm)	Perhitungan Waktu Pantulan	Waktu (μs)	Status
14	29	$t = \frac{2(29)}{0,034}$	1705,88	Tidak terdeteksi
15	30	$t = \frac{2(30)}{0,034}$	1764,71	Tidak terdeteksi
16	31	$t = \frac{2(31)}{0,034}$	1823,53	Tidak terdeteksi
17	32	$t = \frac{2(32)}{0,034}$	1882,35	Tidak terdeteksi
18	33	$t = \frac{2(33)}{0,034}$	1941,18	Tidak terdeteksi
19	34	$t = \frac{2(34)}{0,034}$	2000,00	Tidak terdeteksi
20	35	$t = \frac{2(35)}{0,034}$	2058,82	Tidak terdeteksi

Sebagai contoh, pada percobaan dengan jarak 4 cm diperoleh waktu pantulan sebesar 235,29 μs , sedangkan pada jarak 20 cm diperoleh waktu sebesar 1176,47 μs .

Untuk memperjelas hubungan antara jarak dan waktu pantulan, ditampilkan grafik pada Gambar 5 sebagai berikut;



Gambar 6. Grafik waktu pantulan

Pada gambar 6 menunjukkan grafik waktu pantulan yang menghubungkan antara jarak objek terhadap waktu pantulan gelombang ultrasonik. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa hubungan antara jarak dan waktu bersifat linier, di mana semakin jauh jarak objek, maka semakin besar waktu yang dibutuhkan gelombang ultrasonik untuk kembali ke sensor.

Kenaikan waktu pantulan ini terjadi secara konsisten pada setiap penambahan jarak, yang menunjukkan bahwa sistem pengukuran bekerja sesuai dengan prinsip dasar perambatan gelombang suara di udara. Membuktikan bahwa sensor ultrasonik mampu mengukur jarak dengan cukup baik berdasarkan waktu pantulan yang diterima.

Selain itu, Tingkat keberhasilan dapat di hitung dengan menggunakan persamaan:

$$A = \frac{N_{\text{berhasil}}}{N_{\text{total}}} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan;

- $N_{\text{berhasil}} = 9$
- $N_{\text{total}} = 20$

$$A = \frac{9}{20} \times 100\%$$

$$A = 45\%$$

Nilai ini menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang baik pada rentang jarak tertentu, namun mengalami penurunan jika melebihi 20 cm, sistem tidak lagi mampu mendeteksi objek pada rentang tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa keterbatasan deteksi bukan disebabkan oleh perhitungan waktu, melainkan oleh melemahnya sinyal pantulan yang diterima sensor.

4.3. Pembahasan Sistem Navigasi Robot

Berdasarkan hasil pengujian, tabel, serta analisis grafik yang diperoleh, sistem robot miniatur *autonomous* mampu memanfaatkan sensor ultrasonik sebagai komponen utama dalam proses navigasi berbasis deteksi jarak (*distance-based navigation*). Sensor ultrasonik berperan dalam memberikan informasi lingkungan secara real-time kepada mikrokontroler, yang kemudian digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pergerakan robot.

Pada kondisi jarak objek kurang dari 20 cm, sistem mampu merespons dengan baik dengan menghentikan pergerakan robot dan melakukan pemindaian menggunakan motor servo ke arah kiri dan kanan. Proses pemindaian ini memungkinkan sistem untuk mengevaluasi kondisi lingkungan di sekitarnya sebelum menentukan arah gerak yang paling aman. Mekanisme ini menunjukkan bahwa sistem telah menerapkan prinsip dasar *obstacle avoidance*, di mana keputusan navigasi ditentukan berdasarkan perbandingan jarak hasil pembacaan sensor.

Sebaliknya, ketika tidak terdapat objek dalam jangkauan deteksi, robot akan bergerak maju secara kontinu. Hal ini menunjukkan bahwa sistem kontrol telah bekerja secara adaptif terhadap kondisi lingkungan, dengan memanfaatkan logika sederhana berbasis ambang batas (*threshold-based control*).

Namun demikian, hasil pengujian menunjukkan adanya keterbatasan signifikan pada performa sensor ultrasonik, khususnya pada jarak lebih dari 20 cm. Meskipun secara teoritis waktu pantulan gelombang masih dapat dihitung, sensor tidak mampu mendeteksi objek secara efektif. Hal ini disebabkan oleh melemahnya intensitas gelombang ultrasonik akibat faktor redaman udara, sudut pantulan, serta karakteristik permukaan objek yang mempengaruhi reflektivitas gelombang.

Keterbatasan ini berdampak langsung pada kinerja sistem navigasi, di mana robot tidak dapat mengantisipasi keberadaan objek pada jarak yang lebih jauh. Dengan demikian, sistem memiliki keterbatasan dalam kemampuan deteksi dini (*early detection*), yang berpotensi mempengaruhi efisiensi dan keamanan pergerakan robot pada lingkungan yang lebih kompleks.

Secara keseluruhan, sistem navigasi robot miniatur *autonomous* yang dirancang telah mampu bekerja dengan baik pada kondisi jarak dekat, namun masih memiliki keterbatasan dalam jangkauan deteksi. Oleh karena itu, untuk pengembangan lebih lanjut, diperlukan peningkatan pada aspek sensor, seperti penggunaan sensor dengan jangkauan lebih luas atau kombinasi beberapa sensor (*sensor fusion*) guna meningkatkan akurasi dan keandalan sistem navigasi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem robot miniatur *autonomous* berbasis Arduino Mega dengan sensor ultrasonik, dapat disimpulkan bahwa sistem instrumentasi yang dikembangkan telah mampu bekerja dengan baik dalam mendeteksi objek dan mengendalikan pergerakan robot secara otomatis. Sensor ultrasonik HC-SR04 terbukti mampu mengukur jarak objek dengan cukup akurat pada rentang jarak 4 cm hingga 20 cm, yang kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk menentukan respon pergerakan robot.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem navigasi robot dapat berjalan secara *autonomous* dengan menerapkan metode *obstacle avoidance*, di mana robot mampu berhenti, melakukan pemindaian menggunakan motor servo, serta menentukan arah pergerakan berdasarkan kondisi lingkungan. Hubungan antara jarak dan waktu pantulan gelombang ultrasonik juga menunjukkan pola linier yang sesuai dengan teori perambatan gelombang suara.

Namun demikian, sistem memiliki keterbatasan pada jarak deteksi di atas 20 cm, di mana sensor tidak lagi mampu mendeteksi objek secara efektif akibat melemahnya sinyal pantulan. Hal ini berdampak pada kemampuan robot dalam melakukan deteksi dini terhadap objek yang berada pada jarak lebih jauh.

Dengan demikian, sistem robot miniatur *autonomous* yang dirancang telah berhasil diimplementasikan dan mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian, meskipun masih memerlukan pengembangan lebih lanjut, terutama pada peningkatan jangkauan dan akurasi sensor untuk meningkatkan performa sistem secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. N. Yasin and S. A. S. Mohamed, "Low-cost ultrasonic based object detection and collision avoidance method for autonomous robots," *Int. J. Inf. Technol.*, vol. 13, no. 1, pp. 97–107, 2021, doi: 10.1007/s41870-020-00513-w.
- [2] Z. H. Bhuiyan and S. A. Sabina, "Multipurpose

- Surveillance Robot using Arduino Mega 2560 and Bluetooth Module,” vol. 04001, pp. 1–15, 2024.
- [3] et al., “Accuracy Analysis of Distance Measurement Using Sonar Ultrasonic Sensor Hc-Sr04 on Several Types of Materials,” *J. Environmental Eng. Sustain. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 10–13, 2024, doi: 10.21776/ub.jeest.2024.011.01.2.
- [4] M. A. Baballe, M. I. Bello, S. H. Ayagi, and K. S. Polytechnic, “Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences,” vol. 03, no. 05, pp. 14–25, 2023, doi: 10.5281/zenodo.10015177.
- [5] G. S. Thejas, L. S. R. Prasad, B. Prakash, D. Shashank, and N. Arora, “Line Follower and Obstacle Avoiding Robot using Arduino and l298 Motor Driver,” vol. 10, no. 12, pp. 153–162, 2025.
- [6] M. U. Asad, J. Gu, U. Farooq, R. Dey, V. E. Balas, and G. Abbas, “Intelligent Obstacle Avoidance Controller for QBot2,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, no. 1, pp. 120–125, 2022, doi: 10.1016/j.ifacol.2022.04.020.
- [7] Akbar Rizki Priadi, Regita Aulia Safitri, Tyo Bima Pratama, and Ulinnuha Latifa, “Comparison of Accuracy and Precision of Distance Readings on Hc-Sr04, Jsn-Sr04T, and a02Yyuw Ultrasonic Sensors,” *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 27, no. 1, pp. 19–29, 2025, doi: 10.24912/tesla.v27i1.33372.
- [8] S. Nurulhuda, T. Mohd Yasin, M. Akmal, M. Tahir, and I. Hussaini, “Autonomous Navigation: An Arduino-Based Smart Car Obstacle Avoidance System,” *Politek. Kolej Komuniti J. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 128–2883, 2024.
- [9] J. N. Yasin, S. A. S. Mohamed, M. H. Haghbayan, J. Heikkonen, H. Tenhunen, and J. Plosila, “Low-cost ultrasonic based object detection and collision avoidance method for autonomous robots,” *Int. J. Inf. Technol.*, vol. 13, no. 1, pp. 97–107, 2021, doi: 10.1007/s41870-020-00513-w.
- [10] A. Kusna Wibowo and I. Triyanto, “Robot Car Arduino Ultrasonic Sensor HC-SR04 Dengan Metode Fuzzy Logic Controller,” *Ilmu Komput. Al Muslim*, vol. III, no. 2, pp. 68–78, 2024.
- [11] V. A. Akpan, V. A. Akpan, and A. S. Eyefia, “Development of an Enhanced Obstacle Detection System Using Arduino Mega 2560,” © *Afr. J. Comp. ICT*, vol. 14, no. 2, pp. 1–12, 2021, [Online]. Available: <https://afrcict.net>
- [12] K. Lesmana, “Prototipe Penggunaan Motor Servo Untuk Dispenser Otomatis Berbasis Arduino Dan Sensor Hc-Sr04,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 2, pp. 16–22, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6063.
- [13] A. Ma’arif, “Embedded Control System of DC Motor Using Microcontroller Arduino and PID Algorithm,” *IT J. Res. Dev.*, vol. 6, no. 1, pp. 30–42, 2021, doi: 10.25299/itjrd.2021.vol6(1).6125.
- [14] B. R. Rambani, A. Widodo, A. Indarto, I. H. Kencono, M. A. Nurohman, and S. J. Rofiqoh, “Rancang Robot AVOIDER Menggunakan Mikrokontroler Arduino UNO dan Sensor Ultrasonik,” *J. Inf. Comput.*, vol. 3, no. 1, pp. 13–20, 2025, doi: 10.32493/jicomisc.v3i1.41292.
- [15] J. Anne Luma Jabines and M. Angelo Dapitilla Perin, “Obstacle Avoiding Robot using Arduino UNO and HC-SR04 Ultrasonic Sensor Obstacle Avoiding Robot using Arduino UNO and HC-SR04 Ultrasonic Sensor (ACM:IA-I-RRL-PM-R-A),” 2022, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/361322570>