

SISTEM PELACAKAN OBJEK MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK DAN INFRAMERAH UNTUK MOBILE ROBOT DI LINGKUNGAN DINAMIS

Zulkarnain^(1*), Wahyu Saputra⁽¹⁾, M. A. Ade Saputra⁽¹⁾ dan Indah Novianty⁽²⁾

⁽¹⁾ Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

⁽²⁾ Kementrian Perhubungan, Republik Indonesia

^(*) E-mail Corresponding Author: zulkarnain@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengembangkan robot yang dapat mengikuti pergerakan objek bergerak secara otomatis menggunakan Arduino Uno sebagai platform mikrokontroler utama. Robot ini mengintegrasikan sensor ultrasonik untuk mendeteksi jarak dan sensor inframerah untuk mendeteksi arah gerakan objek bergerak. Sensor ultrasonik digunakan untuk menjaga jarak antara robot dan objek dalam rentang 1-25 cm, sehingga robot tetap mengikuti target dengan jarak yang telah ditentukan. Sensor inframerah berfungsi untuk mengatur orientasi robot agar dapat bergerak ke kanan atau kiri dengan akurasi berdasarkan jarak 1-5 cm. Desain robot ini dirancang agar memiliki nilai ekonomis serta performa kinematik yang sesuai untuk mendukung fungsionalitasnya. Pengujian menunjukkan bahwa robot dapat mengikuti objek secara otomatis jika jaraknya kurang dari 25 cm. Jika jarak melebihi 25 cm, robot berhenti karena objek tidak terbaca. Pada sensor inframerah, tegangan bernilai 0 saat objek terdeteksi dan 1 saat tidak terdeteksi.

Kata Kunci: Robot Pengikut, Arduino Uno, Sensor ultrasonik, Sensor inframerah.

Abstract

This research aims to develop a robot that can automatically follow the movement of a moving object using the Arduino Uno as the main microcontroller platform. The robot integrates an ultrasonic sensor to detect distance and an infrared sensor to detect the direction of the moving object's motion. The ultrasonic sensor is used to maintain a distance between the robot and the object within the range of 1-25 cm, ensuring the robot continues to follow the target at the designated distance. The infrared sensor is used to adjust the robot's orientation, enabling it to move right or left with accuracy based on a distance of 1-5 cm. The robot's design is developed to be cost-effective while maintaining kinematic performance suitable to support its functionality. Testing shows that the robot can follow the object automatically if the distance is less than 25 cm. If the distance exceeds 25 cm, the robot stops because the object is no longer detected. On the infrared sensor, the voltage is 0 when the object is detected and 1 when it is not detected.

Keywords: Follower Robot, Arduino Uno, Ultrasonic sensor, Infrared sensor

1 PENDAHULUAN

Di era digital dan otomasi saat ini, robotika dan Internet of Things (IoT) telah memberikan dampak signifikan terhadap kehidupan manusia. Penerapan teknologi ini tidak hanya menggantikan metode kerja tradisional tetapi juga membuka peluang untuk menciptakan solusi inovatif dalam berbagai aspek kehidupan. Salah satu inovasi yang menarik perhatian adalah pengembangan robot pengikut objek bergerak, yang mampu mendeteksi gerakan dan merespons secara otomatis berdasarkan arah dan jarak tertentu. Robot jenis ini sangat potensial untuk membantu dalam berbagai bidang, seperti membawa

barang, bekerja dengan akurasi tinggi, dan beroperasi dalam waktu lebih singkat. Di rumah sakit, robot ini dapat digunakan untuk membawa obat atau peralatan medis dengan cepat dan tepat, sehingga membantu tenaga medis dalam situasi darurat.

Penelitian mengenai robot pengikut objek bergerak terus berkembang. Berbagai studi dalam lima tahun terakhir menunjukkan bahwa integrasi sensor canggih, seperti sensor inframerah dan ultrasonik, telah meningkatkan kemampuan robot dalam mendeteksi dan mengikuti target secara lebih presisi. Misalnya, penelitian oleh [1-2] menunjukkan bahwa kombinasi sensor ultrasonik dan algoritma

pengolahan citra meningkatkan kemampuan robot dalam mendeteksi objek bergerak dalam lingkungan dinamis. Sementara itu, [2-4] mengembangkan algoritma pengendalian robot berbasis kecerdasan buatan yang memungkinkan robot tidak hanya mengikuti objek tetapi juga memprediksi pergerakan berdasarkan pola tertentu.

Namun, tantangan utama dalam pengembangan robot ini adalah meningkatkan akurasi deteksi dalam lingkungan kompleks, seperti di area dengan banyak gangguan atau perubahan pencahayaan. Selain itu, efisiensi energi dan desain ekonomis juga menjadi perhatian penting untuk memungkinkan penerapan luas di berbagai sektor. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini mengusulkan integrasi sensor inframerah dan ultrasonik dengan mikrokontroler Arduino Uno, yang berfungsi sebagai unit pemrosesan utama. Robot dirancang dengan empat motor DC yang dikendalikan oleh driver motor ATmega L293D. Sistem ini memungkinkan robot untuk mengikuti objek bergerak secara otomatis dalam jarak tertentu, baik ke arah maju, mundur, maupun berbelok[5].

Tujuan utama penelitian ini adalah menciptakan robot pengikut objek bergerak yang ekonomis, andal, dan mudah diterapkan dalam kehidupan sehari-hari. Robot ini diharapkan dapat digunakan di berbagai sektor, seperti rumah sakit, industri, dan sektor pertahanan. Di masa depan, robot ini dapat dimodifikasi dengan menambahkan kamera, alat pelacak, atau komponen lain untuk meningkatkan fungsionalitasnya. Penelitian ini bertujuan memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi robotika yang mendukung kehidupan manusia secara lebih baik dan efisien.

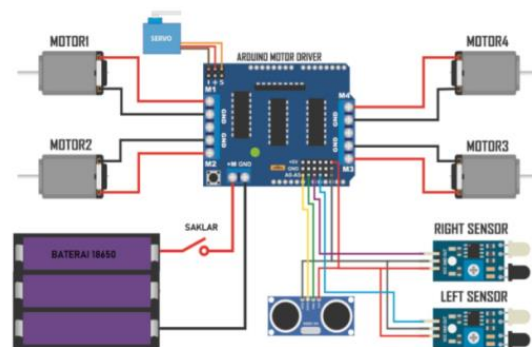
2 METODOLOGI

enelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur untuk memahami teknologi yang relevan dalam pengembangan robot pengikut objek bergerak. Sumber referensi diambil dari berbagai jurnal ilmiah, seperti penelitian [6] yang menjelaskan integrasi sensor ultrasonik dan inframerah dalam deteksi objek secara akurat, serta [7] yang membahas penggunaan algoritma kecerdasan buatan untuk prediksi gerakan. Kajian ini bertujuan memperoleh dasar teoretis dalam perancangan sistem, meliputi pemilihan sensor, algoritma pengendalian, dan implementasi mikrokontroler yang sesuai dengan kebutuhan[8].

Tahap selanjutnya adalah perancangan dan pengembangan sistem robot. Mikrokontroler Arduino Uno digunakan sebagai unit pemrosesan utama karena fleksibilitasnya dalam mengintegrasikan berbagai sensor [9]. Sensor ultrasonik dipilih untuk mendeteksi jarak dengan akurasi tinggi pada rentang 1-25 cm, sementara sensor inframerah digunakan untuk mendeteksi arah gerakan objek [6-9]. Sistem penggerak terdiri dari

empat motor DC yang dikendalikan oleh driver motor L293D, yang memungkinkan gerakan maju, mundur, serta belok kanan dan kiri. Pemrograman dilakukan menggunakan Arduino IDE untuk memastikan logika deteksi dan pengendalian gerakan berjalan sesuai perancangan.

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan beberapa parameter utama. Penelitian [9-10] menginspirasi pengujian akurasi deteksi jarak, efisiensi energi, serta kemampuan robot beradaptasi di lingkungan dinamis. Data hasil pengujian dianalisis untuk mengidentifikasi keunggulan dan kelemahan sistem, yang selanjutnya menjadi dasar dalam memberikan rekomendasi pengembangan. Semua temuan dan analisis disusun dalam laporan penelitian yang bertujuan memastikan robot dapat bekerja secara optimal dalam berbagai situasi dengan efisiensi tinggi [11-12].

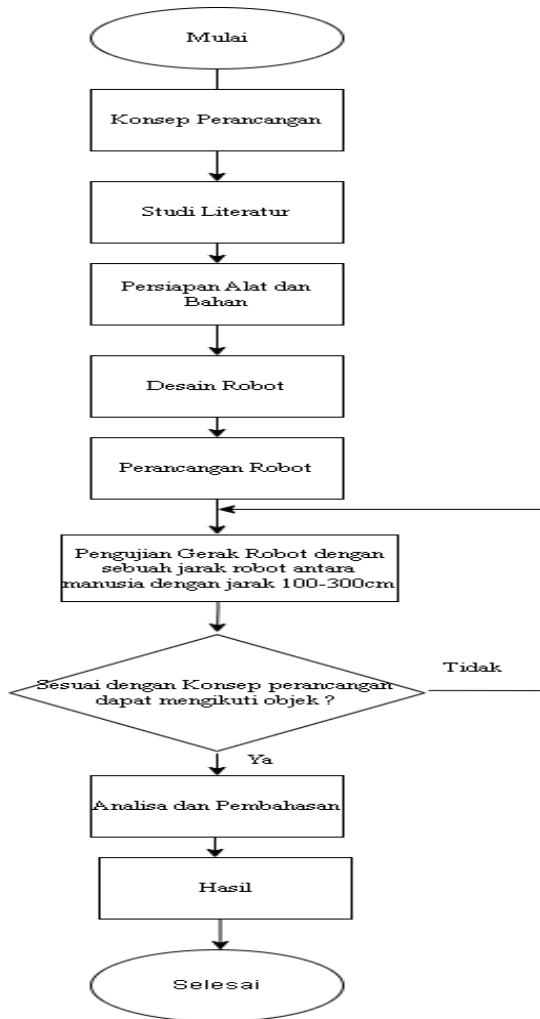


Gambar 1 Perancangan Sistem

Dalam percobaan pertama yaitu mencari bagaimana konsep dari sebuah robot yang akan kita rancang yang biasanya di sebut dengan konsep perancangan, setelah itu ada pula tahap dimana kita mencari referensi atau studi literature tentang perobotan yang mana biasanya kita bisa mendapatkan ide-ide tentang robot yang kita akan rancang, pada tahap selanjutnya kita akan mempersiapkan alat dan bahan dari sebuah robot tersebut yang mana kita akan lebih dahulu tahu apa saja yang di perlukan oleh sebuah robot yang akan kita rancang tersebut.

Tahap selanjutnya mempersiapkan alat dan bahan yang kita persiapkan selanjutnya ialah membuat desain robot tersebut yang mana akan mempermudah kita dalam merancang robot itu. Tahap selanjutnya adalah perancangan robot, yang mencakup proses perakitan komponen untuk membangun prototipe robot. Setelah perakitan selesai, dilakukan pengujian untuk mengevaluasi kinerja robot, termasuk kemampuan gerakannya dan respons terhadap berbagai kondisi. Hasil pengujian dianalisis untuk mengidentifikasi kekurangan atau kesalahan pada robot. Tahap terakhir adalah menyusun hasil akhir dari pengujian dan analisis tersebut, yang akan menjadi dasar untuk menentukan

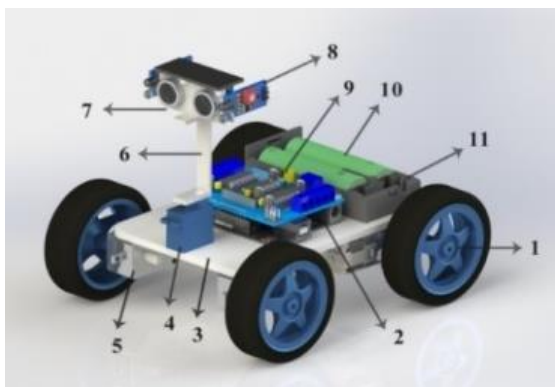
keberhasilan atau kebutuhan perbaikan lebih lanjut pada robot.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian kali ini, mobil robot didesain seperti pada gambar 3.



Gambar 3 Desain Robot

Dengan keterangan gambar mobil robot tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Keterangan Mobil Robot

NO	Keterangan
1.	Roda
2.	Arduino Uno R3 Atmega 238
3.	Chasis
4.	Motor Servo
5.	Motor DC
6.	Bracket
7.	Ultrasonic Sensor
8.	Infrared Sensor
9.	18650 Li-on Battery
10.	18650 Li-on Battery Holder

Roda yang digunakan pada penelitian kali ini adalah roda yang dipakai pada umumnya memiliki ban dan velg. Ban yang berfungsi sebagai menopang berat pada robot dan juga sebagai komponen yang bersinggungan pada lintasan. Dan velg yang digunakan berukuran $2,4 \times 1,1$ cm. Motor DC yang digunakan pada penelitian ini yakni Motor DC berjenis Motor DC dengan suplay satu fasa yang berfungsi sebagai penggerak roda pada gear box saat bergerak. Motor DC ini memberikan tegangan 6 V sebagai penggerak saat berjalan. Adapun gambar Motor DC yang digunakan pada penelitian kali ini dan spesifikasi yang dirangkum pada tabel berikut [2].



Gambar 4 Motor DC

Lalu pada sensor ultrasonik yang digunakan sebagai sensor pembaca jarak dapat dilihat pada gambar 5 berikut.

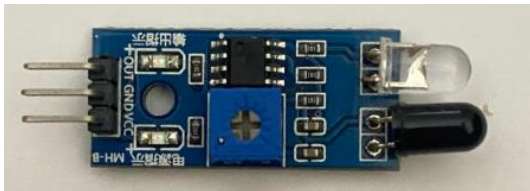


Gambar 5 Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik yang dipakai pada penelitian ini berfungsi sebagai untuk membaca objek didepan, sehingga ketika ada objek dalam hal ini manusia, maka robot akan diperintahkan untuk bergerak maju. Sensor ultrasonic memiliki empat buah pin/kaki,

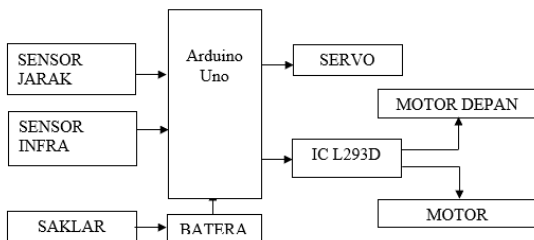
yaitu pin Echo, Trigger, VCC maupun Gnd. Pin-pin tersebut terhubung pada rangkaian Arduino uno sebagai data pemancar dan penerima pada pin A1 dan pin A0 [4].

Selanjutnya sensor infrared berfungsi sebagai pembelok robot, ketika ada objek manusia disebelah kiri maka sensor akan mendeteksi maupun sebaliknya ketika terdapat disebelah kanan, maka secara otomatis sensor akan membaca yang selanjutnya mengikuti dengan cara berbelok arah. yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 6 Sensor Infrared

Selanjutnya ada Blok diagram sistem robot yang dirancang adalah robot pengikut manusia. Diagram ini menggambarkan keseluruhan sistem, yang penting untuk memahami cara kerja rangkaian robot. Dengan diagram ini, sistem dapat berfungsi sesuai dengan perancangan perintah. Gambar 7 di bawah ini menunjukkan diagram blok rangkaian secara keseluruhan.



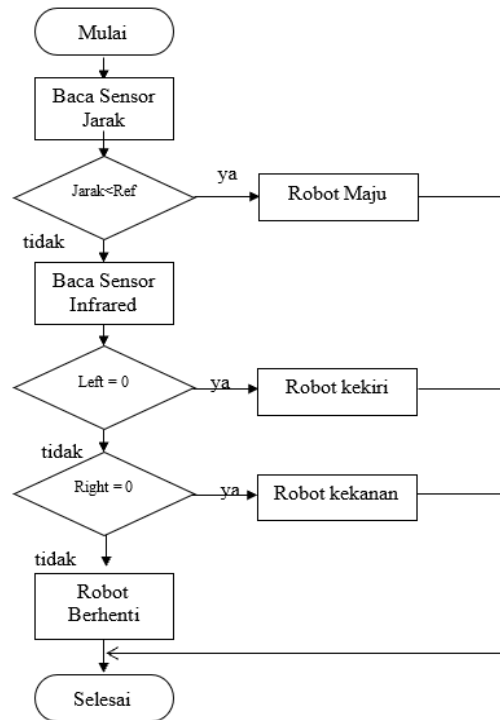
Gambar 7 Blok Diagram Robot

Berdasarkan rancangan blok diagram diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Input berupa sensor infrared dan sensor jarak. Sensor infrared terdiri dari dua buah yaitu sensor kiri dan sensor kanan. Sensor jarak digunakan untuk membaca ada atau tidaknya objek manusia didepan.
2. Kendali berupa mikrokontroler Arduino Uno, digunakan untuk mengendalikan seluruh perangkat keras yang ada pada robot baik berupa inputan maupun output pada robot.
3. Output driver I293d motor dc. Ic I293d digunakan untuk mengatur gerak robot petarung.
4. Power Supply berupa baterai type 18650 terdiri dari 3 buah dengan tegangan total berkisar 11-12 volt. Power supply ini digunakan untuk menyuplay komponen-komponen robot.

Untuk menggunakan mikrokontroler, diperlukan pembuatan flowchart sebagai langkah awal dalam pembuatan program. Flowchart mempermudah

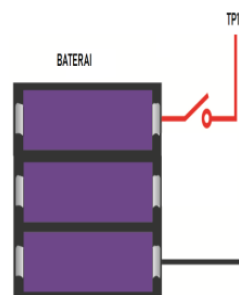
proses pengkodean alat yang dirancang. Berikut adalah flowchart untuk robot pengikut manusia.



Gambar 8 Simulasi Flowchat Robot Pengikut Manusia

Pada simulasi ini, robot membaca sensor jarak SRF 04. Jika jarak referensi (1-25 cm) lebih kecil dari jarak yang dibaca sensor, robot akan menganggap ada objek di depannya dan bergerak maju untuk mengikuti objek tersebut. Jika sensor inframerah mendeteksi objek, robot akan bergerak ke kiri atau kanan sesuai pembacaan sensor. Jika tidak ada objek yang terdeteksi, robot akan berhenti.


Pada pengujian *power input* dilakukan untuk memastikan tegangan yang dihasilkan tidak melebihi batas daya masukan rangkaian, agar komponen tidak rusak. Pengukuran dilakukan dengan multimeter digital, dengan kabel hitam terhubung ke rangkaian negatif dan kabel merah pada titik pengukuran (TP1). Komponen seperti saklar dipasang pada kaki positif baterai. Hasil pengukuran dilakukan lima kali, dan rata-rata tegangan pada TP1 adalah 11,62 V.



Gambar 9 Titik Pengukuran Power Supply

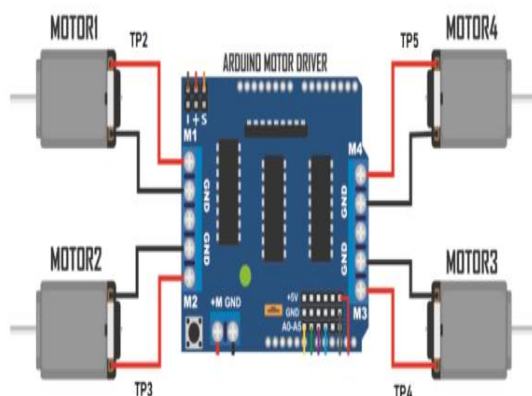
Dari hasil analisa dan pengukuran didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Power Input

No	Pengukuran	TP1	Multi Meter
1	Pengukuran 1	11,62 V	
2	Pengukuran 2	11,62 V	
3	Pengukuran 3	11,62 V	
4	Pengukuran 4	11,62 V	
5	Pengukuran 5	11,62 V	
Vrata-rata		11,62 V	

Dari tabel diatas dapat kita lihat bahwa TP1 merupakan tegangan input dari baterai. Pengukuran dilakukan sebanyak lima kali, bertujuan agar hasil inputan sesuai keinginan sehingga diperoleh data rata-rata TP1 sebesar 11,62 V.

Selanjutnya pengujian pada rangkaian *Driver L293D* yang mana pada pengujian ini menggunakan ic l293d dengan tegangan inputan langsung dari baterai berdasarkan hasil pengukuran sebesar 11,62 V. Output empat buah motor dc yang terpasang pada sisi kiri dan kanan robot pengikut manusia dengan label pada shield driver berupa M1, M2, M3 dan M4. Sehingga terdapat 4 buah titik pengukuran yang diuji, TP2 – TP5 sebagai output beban berupa motor dc. Berikut titik pengukuran driver tersebut.



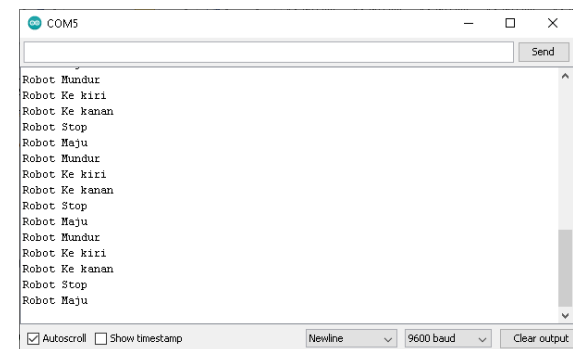
Gambar 10 Pengukuran Driver L293d

Dari hasil pengukuran pada masing-masing TP, didapatkan data tegangan input dan output motor dc sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Driver L293d

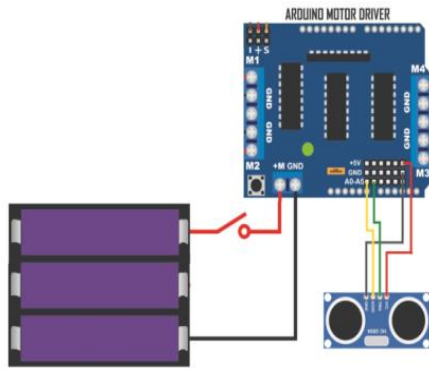
No	Aksi Robot	M1	M2	M3	M4	Multimeter
1	Maju	6,69	6,69	6,69	6,69	
2	Kiri	-6,69	-6,69	6,69	6,69	
3	Kanan	6,69	6,69	-6,69	-6,69	
4	Berhenti	0	0	0	0	

Berdasarkan tabel data diatas disimpulkan bahwa TP2 sampai TP5, merupakan output dari driver l293d berupa Motor 1 , Motor 2, Motor 3 dan Motor 4. Pada saat robot maju, keempat motor dc bergerak dengan arah putar motor dc forward dengan tegangan output 6,69 Volt, jika robot bergerak ke kiri maka M1, M2 forward sedangkan M3 dan M4 bergerak backward. Apabila robot bergerak ke kanan, maka M1 dan M2 backward dan M3 , M4 bergerak forward. Sedangkan pada saat berhenti/diam, seluruh TP bernilai 0.



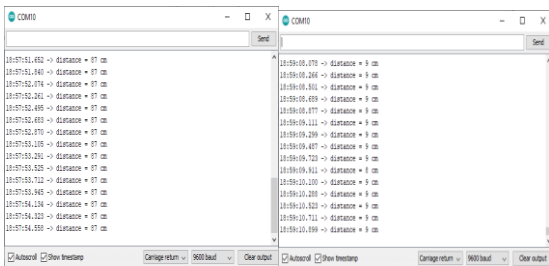
Gambar 11 Tampilan Kondisi Program Serial Monitor

Selanjutnya pengujian pada sensor ultrasonik HC-SR04 Sensor ultrasonic pada robot pengikut manusia memiliki 1 buah yang terpasang didepan robot. Sensor ultrasonic difungsikan untuk membaca objek didepan, sehingga ketika ada objek dalam hal ini manusia, maka robot akan diperintahkan untuk bergerak maju. Nilai-nilai hasil pembacaan dari sensor ultrasonic selanjutnya ditampilkan dalam serial monitor, sehingga memudahkan dalam menentukan jarak objek dan sensor dapat diketahui dengan pasti apakah dapat membaca objek dengan baik. Sensor ultrasonic memiliki empat buah pin/kaki, yaitu pin Echo, Trigger, VCC maupun Gnd. Pin-pin tersebut terhubung pada rangkaian Arduino uno sebagai data pemancar dan penerima pada pin.A1 dan pin.A0. Berikut skema rangkaian dan kode program sensor ultrasonic menggunakan software Arduino IDE.



Gambar 12 Skema Rangkaian Sensor Ultrasonik

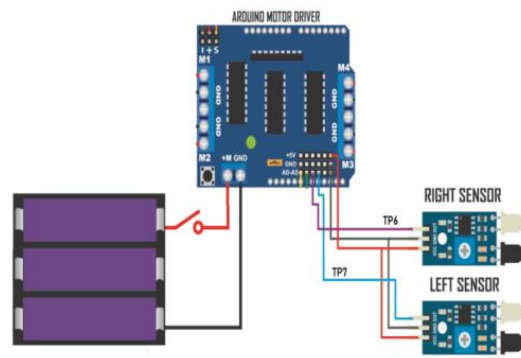
Selanjutnya dilakukan pengujian dengan cara melihat langsung nilai yang muncul pada layar monitor, tampilan serial monitor pada Arduino IDE. Berikut hasil tampilan pada serial monitor.



Gambar 13 Perubahan Nilai Hasil Pembacaan Sensor

Berdasarkan hasil pengujian terhadap sensor ultrasonik, dapat diambil kesimpulan bahwa sensor ultrasonic dapat bekerja dengan baik, hal ini terbukti ketika ada objek yang dihalangi didepan sensor, maka akan muncul perubahan nilai jarak seperti pada gambar diatas yaitu jarak terbaca 87 cm dan jarak 9 cm.



Selanjutnya pengujian sensor infrared, robot pengikut manusia memiliki dua buah sensor yang terpasang dibagian kiri maupun bagian kanan badan robot. Sensor infrared berfungsi sebagai pembelok robot, ketika ada objek manusia disebelah kiri maka sensor akan mendeteksi maupun sebaliknya ketika terdapat disebelah kanan, maka secara otomatis sensor akan membaca yang selanjutnya mengikuti dengan cara berbelok arah. Jarak pembacaan sensor infrared terhadap objek yaitu 1-5 cm terhadap objek, sehingga jika objek jauh dari sensor maka objek tersebut tidak dapat dideteksi, terdapat indicator led pada sensor ketika menyala menandakan bahwa sensor mendeteksi objek.





Gambar 14 Titik Pengukuran Sensor Infrared

Berdasarkan skema diatas, titik pengukuran data/output sensor infrared yaitu pada pin A2 untuk sensor kanan infrared, dan pin A3 untuk sensor kiri infrared. Tegangan input dari sensor infrared yaitu pada tegangan 5V yang merupakan output dari Arduino motor shield. Berikut hasil pengukuran sensor infrared baik saat mendeteksi objek maupun tidak mendeteksi objek.

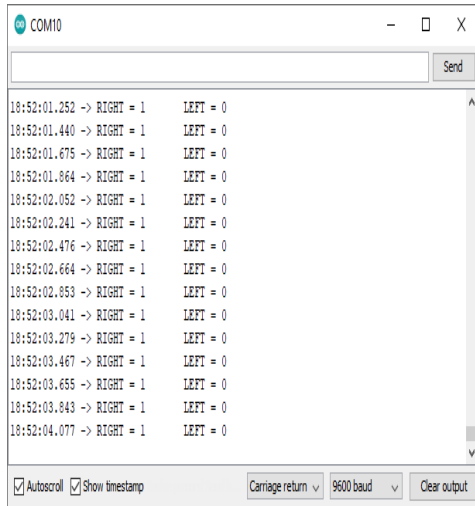
Tabel 4. Hasil Pengukuran Saat Objek Terdeteksi

No	Pengukuran	TP6	TP7	Multi Meter
1	Pengukuran 1	0,38	0,55	
2	Pengukuran 2	0,38	0,55	
3	Pengukuran 3	0,38	0,55	
4	Pengukuran 4	0,38	0,55	
5	Pengukuran 5	0,38	0,55	
Vrata-rata		0,38	0,55	

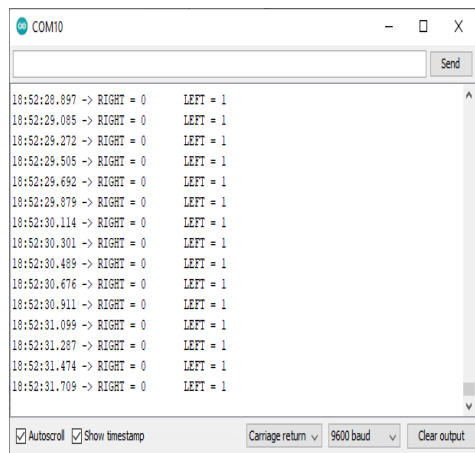
Tabel 5. Hasil Pengukuran Saat Tidak Ada Objek

No	Pengukuran	TP6	TP7	Multi meter
1	Pengukuran 1	4,92	4,85	
2	Pengukuran 2	4,92	4,85	
3	Pengukuran 3	4,92	4,85	
4	Pengukuran 4	4,92	4,85	
5	Pengukuran 5	4,92	4,85	
Vrata-rata		4,92	4,85	

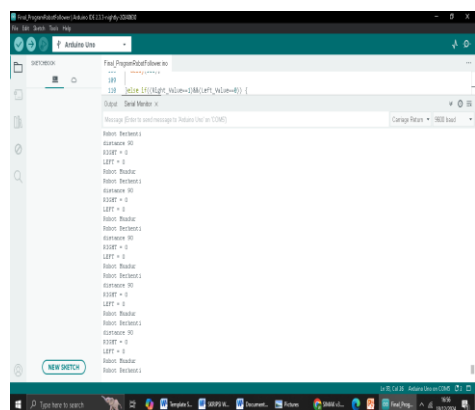
Berdasarkan tabel diatas, diketahui bahwa sensor kanan saat mendeteksi objek, output yang dihasilkan yaitu 0,38 V, sedangkan saat tidak mendeteksi objek yaitu 4,92 V. Sensor kiri (left) saat mendeteksi objek yaitu 0,55 V, saat tidak mendeteksi objek yaitu 4,85 V. Perbedaan dari tiap ouput yang dihasilkan oleh masing-masing sensor dipengaruhi karena perbedaan konfigurasi sensitivitas awal sensor.



Gambar 15 Nilai Sensor Kiri Mendeteksi Objek



Gambar 16 Nilai Sensor Kanan Mendeteksi Objek

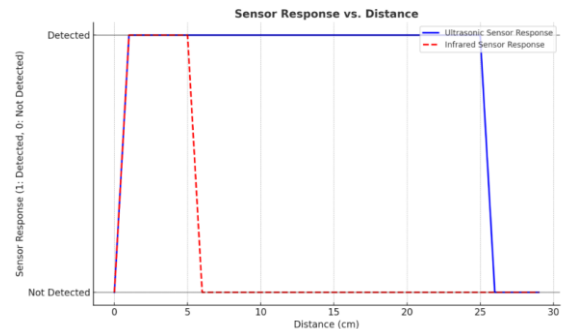


Gambar 17 Pengujian Ketika Kedua Sensor Aktif

Dari gambar 15 dan gambar 16 terlihat bahwa saat sensor tidak mendeteksi objek, maka nilai output atau logic dari masing-masing sensor bernilai 1

(High), sedangkan ketika sensor mendeteksi adanya objek dengan jarak antara 1-5 cm, maka output dari sensor bernilai 0 (Low). Nilai-nilai ini nantinya akan dijadikan sebagai acuan dalam menentukan perubahan pergerakan dari robot pengikut manusia dan pada gambar 16 terlihat bahwa kedua sensor aktif maka robot nya akan melakukan gerak mundur lalu berhenti.

Setelah pengujian dari masing-masing perangkat, selanjutnya dilakukan penggabungan dari tiap perangkat sehingga diperoleh skematik rangkaian keseluruhan maupun hasil tampilan dari robot pengikut manusia.



Gambar 18 respons sensor ultrasonik dan inframerah terhadap jarak objek yang terdeteksi

Grafik di atas menunjukkan respons sensor ultrasonik dan inframerah terhadap jarak objek yang terdeteksi.

Sensor Ultrasonik: Merespons ketika jarak objek berada dalam rentang 1–25 cm. Jika jarak objek lebih dari 25 cm, sensor tidak dapat mendeteksi objek.

Sensor Inframerah: Berfungsi untuk mendeteksi arah dalam jarak 1–5 cm. Jika objek berada di luar rentang ini, sensor tidak mendeteksi objek.

Grafik ini menggambarkan jangkauan deteksi masing-masing sensor, yang menjadi dasar dalam pengujian dan analisis kinerja robot.

4 KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan robot pengikut objek bergerak memerlukan pemahaman mendalam mengenai teknologi yang relevan, termasuk sensor dan algoritma kecerdasan buatan. Melalui studi literatur yang mencakup referensi dari penelitian terdahulu, seperti penggunaan sensor ultrasonik dan inframerah untuk deteksi objek, serta penerapan algoritma prediksi gerakan, penelitian ini memberikan dasar teoretis yang kokoh dalam perancangan sistem robot.

Proses perancangan robot menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai unit pemrosesan utama, yang mendukung integrasi berbagai sensor untuk mendeteksi jarak dan arah

objek. Pengujian dilakukan untuk menilai akurasi deteksi dan kinerja robot dalam kondisi dinamis, dengan menganalisis kelebihan dan kekurangannya. Temuan dari pengujian ini kemudian dijadikan dasar untuk pengembangan lebih lanjut, dengan tujuan memastikan robot dapat beroperasi secara optimal dengan efisiensi tinggi dalam berbagai situasi..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Zhang, Y. Li, dan J. Wang, "Development of a real-time human-following robot based on ultrasonic and infrared sensors," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 68, no. 5, pp. 3915-3925, May 2021.
- [2] Y. Liu, H. Chen, dan R. Zhao, "AI-based motion prediction and control for mobile robots in dynamic environments," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 7, no. 1, pp. 134-141, Jan. 2022.
- [3] A. Kumar dan P. Singh, "Design and implementation of an economical robot for object following using Arduino," *International Journal of Advanced Robotics Systems*, vol. 19, no. 2, pp. 1-12, Feb. 2023.
- [4] M. Al-Rawi dan F. Hasan, "Obstacle detection and avoidance system for mobile robots using hybrid sensors," *Sensors*, vol. 20, no. 9, pp. 2484-2491, 2020.
- [5] J. Park, S. Kim, dan D. Lee, "Energy-efficient navigation of human-following robots with adaptive sensor integration," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 22344-22354, Mar. 2021.
- [6] Y. Zhang, L. Wang, and X. Li, "Design and implementation of a mobile robot following a moving object using visual tracking," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 154828-154837, 2019. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8770145>.
- [7] M. T. Chien, M. H. Lin, and C. H. Liu, "Real-time mobile robot tracking for moving objects using color histogram," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 17, no. 4, p. 172988142093021, 2020. [Online]. Available: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1729881420930217>.
- [8] A. Hernandez, P. S. Maybeck, and E. R. Krotkov, "Object tracking in dynamic environments for mobile robots," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 36, no. 3, pp. 741-754, Jun. 2020. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9042347>.
- [9] J. M. Guerrero, F. Garcia, and D. Gonzales, "Mobile robot tracking of moving objects using deep learning for real-time control," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 6, no. 2, pp. 2559-2566, Apr. 2021. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9447641>.
- [10] T. H. Kwon, S. H. Kim, and H. J. Lee, "A study on a vision-based mobile robot following a moving target," *Sensors*, vol. 19, no. 24, p. 5512, Dec. 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/24/5512>.
- [11] D. C. M. Tsou, W. P. Lin, and L. F. Liu, "Tracking and following moving objects with an autonomous mobile robot," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 67, no. 9, pp. 7730-7739, Sep. 2020. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8997352>.
- [12] H. Lee and T. W. Lee, "A mobile robot with object tracking capabilities for autonomous navigation," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 35, no. 5, pp. 1100-1110, Oct. 2019. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8792103>.
- [13] K. Ueno, H. Saito, and R. Inoue, "Object tracking system using machine learning for mobile robots in dynamic environments," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 118, pp. 92-101, Jan. 2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921889019302823>.