

PROTOTIPE SISTEM ROBOT PELAYAN MAKANAN OTOMATIS BERBASIS NAVIGASI CERDAS DAN DETEKSI HALANGAN MULTI-SENSOR

Hevfy Dismi Rianti, Rachmat Iskandar
Teknik Komputer, Politeknik TEDC Bandung
Jl. Pesantren KM.2, Cimahi, Jawa Barat.
hefvy01@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi otomasi dan robotika membuka peluang penerapan sistem pelayanan yang lebih efisien pada industri restoran. Namun, proses pengantaran makanan di banyak restoran masih dilakukan secara manual sehingga berpotensi menyebabkan keterlambatan pelayanan, meningkatkan beban kerja pelayan, dan menurunkan efisiensi operasional. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun prototipe sistem robot pelayan makanan otomatis berbasis navigasi cerdas dan deteksi halangan multi-sensor untuk membantu proses pengantaran makanan secara mandiri. Metode yang digunakan adalah *User Centered Design* (UCD) yang meliputi tahap identifikasi kebutuhan pengguna, perancangan sistem, implementasi, dan evaluasi. Sistem dikembangkan menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) VL53L1X ToF untuk deteksi halangan, sensor *infrared* untuk navigasi jalur, serta ESP32-CAM untuk pemantauan *visual*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot mampu mengikuti jalur yang telah ditentukan, mendeteksi halangan secara *real-time*, dan melakukan pengantaran makanan secara otomatis dengan pergerakan yang stabil. Sistem yang dikembangkan dapat meminimalkan risiko tabrakan dan meningkatkan efisiensi pelayanan restoran sehingga berpotensi menjadi solusi alternatif dengan biaya implementasi yang relatif rendah bagi restoran skala kecil dan menengah.

Kata kunci : Robot Pelayan, Navigasi Cerdas, Multi-Sensor, Deteksi Halangan, Esp32.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomasi dan robotika telah memberikan dampak yang signifikan dalam berbagai sektor industri, termasuk industri pelayanan makanan dan minuman. Restoran modern dituntut untuk memberikan pelayanan yang cepat, tepat, efisien, dan konsisten guna meningkatkan kepuasan pelanggan serta menjaga produktivitas operasional. Namun, pada jam-jam sibuk, pelayan restoran sering mengalami peningkatan beban kerja yang dapat menyebabkan keterlambatan pengantaran makanan, kesalahan pelayanan, hingga menurunnya kualitas layanan. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya penerapan teknologi yang mampu membantu proses operasional restoran secara lebih efektif dan efisien [1].

Salah satu teknologi yang banyak dikembangkan untuk mendukung pelayanan restoran adalah robot pelayan makanan otomatis. Penggunaan robot dinilai mampu mengurangi pekerjaan yang bersifat berulang, meningkatkan efisiensi pelayanan, serta memberikan pengalaman pelayanan yang lebih modern bagi pelanggan. Meskipun demikian, sebagian besar robot pelayan yang telah dikembangkan masih memiliki keterbatasan pada sistem navigasi dan kemampuan beradaptasi terhadap lingkungan yang dinamis. Robot umumnya menggunakan jalur tetap atau sistem navigasi sederhana sehingga kurang fleksibel ketika menghadapi perubahan kondisi lingkungan, seperti perpindahan meja, keberadaan manusia, maupun munculnya halangan secara tiba-tiba. Padahal, lingkungan restoran memiliki tingkat interaksi manusia yang tinggi sehingga membutuhkan sistem

navigasi yang mampu bekerja secara otomatis dan responsif.

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait pengembangan robot *mobile* dan robot pelayan berbasis multi-sensor. Zhao et al. mengembangkan sistem *obstacle avoidance* menggunakan kombinasi sensor ultrasonik dan *infrared* pada robot *mobile* untuk meningkatkan kemampuan deteksi halangan. Uşinskis et al. menjelaskan bahwa integrasi berbagai sensor melalui *sensor fusion* mampu meningkatkan akurasi navigasi robot otonom pada lingkungan yang dinamis. Sementara itu, Kao et al. menunjukkan bahwa penggunaan robot layanan pada restoran dapat meningkatkan efisiensi pelayanan dan memberikan pengalaman yang lebih modern bagi pelanggan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa teknologi robot pelayan memiliki potensi besar untuk diterapkan pada lingkungan restoran.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan suatu sistem robot pelayan yang memiliki kemampuan navigasi cerdas dan deteksi halangan secara *real-time*. Perkembangan teknologi sensor memungkinkan pengembangan sistem robot berbasis multi-sensor dengan biaya yang lebih terjangkau dibandingkan teknologi navigasi industri seperti LiDAR dan SLAM berbasis ROS. Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya memanfaatkan teknologi navigasi yang relatif mahal sehingga sulit diterapkan pada restoran skala kecil dan menengah. Integrasi beberapa sensor dapat meningkatkan kemampuan robot dalam memperoleh informasi lingkungan sehingga proses navigasi dan penghindaran halangan dapat dilakukan dengan lebih baik.

Penelitian ini mengusulkan pengembangan prototipe robot pelayan makanan otomatis berbasis navigasi cerdas dan deteksi halangan multi-sensor. Sistem memanfaatkan kombinasi beberapa sensor untuk mendukung navigasi jalur, deteksi halangan, dan pemantauan lingkungan secara *real-time*. Pengembangan sistem dilakukan menggunakan metode *User Centered Design* (UCD) agar rancangan yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan pengguna dan kondisi operasional restoran [2].

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membangun prototipe robot pelayan makanan otomatis yang mampu melakukan navigasi jalur, mendeteksi halangan secara *real-time*, serta membantu proses pengantaran makanan di lingkungan restoran. Melalui penelitian ini diharapkan diperoleh solusi robot pelayan berbiaya rendah yang mampu meningkatkan efisiensi pelayanan restoran dan dapat menjadi referensi untuk pengembangan robot layanan berbasis navigasi cerdas pada penelitian selanjutnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perkembangan teknologi robotika dan Internet of Things (IoT) telah memberikan dampak yang signifikan dalam berbagai bidang, termasuk sektor pelayanan restoran. Robot pelayanan makanan merupakan salah satu implementasi teknologi yang bertujuan meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas pelayanan kepada pelanggan. Sistem robot pelayan makanan dirancang agar mampu bergerak secara otomatis, mendeteksi jalur, menghindari halangan, serta membantu proses pengantaran makanan secara mandiri. Untuk mendukung kemampuan tersebut diperlukan integrasi perangkat keras, sensor, dan sistem kontrol yang tepat sehingga robot dapat bekerja secara optimal pada lingkungan restoran yang dinamis. Mikrokontroler merupakan komponen utama dalam sistem robotika karena berfungsi sebagai pusat pengendali seluruh perangkat elektronik yang digunakan. Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem IoT dan robotika adalah ESP32. ESP32 merupakan mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif System sebagai generasi penerus ESP8266 dengan kemampuan yang lebih baik, seperti kapasitas memori yang lebih besar, jumlah pin yang lebih banyak, dukungan Bluetooth, serta konektivitas WiFi bawaan. ESP32 mampu melakukan komunikasi data melalui jaringan internet sehingga sangat sesuai diterapkan pada sistem berbasis IoT [3].

Sumber daya listrik pada sistem robot menggunakan baterai lithium 18650 yang bersifat rechargeable atau dapat diisi ulang. Baterai jenis ini memiliki tegangan kerja sebesar 3,7 Volt dengan kapasitas yang cukup besar sehingga mampu mendukung kebutuhan daya pada robot bergerak. Penggunaan baterai lithium 18650 dinilai efektif karena memiliki ukuran yang ringkas, daya tahan yang baik, serta banyak digunakan pada perangkat elektronik portabel. Pada sistem navigasi robot, sensor

menjadi komponen penting untuk mendukung kemampuan robot dalam memahami kondisi lingkungan sekitarnya. Salah satu sensor yang digunakan adalah sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) VL53L1X ToF. Sensor ini bekerja dengan memancarkan gelombang kemudian menerima pantulan gelombang dari objek di depannya untuk menghitung jarak antara sensor dan objek. Sensor VL53L1X ToF memiliki kemampuan mendeteksi halangan dengan cukup baik sehingga sering digunakan pada sistem *obstacle avoidance* pada robot *mobile* [4].

Selain sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF), penelitian ini juga menggunakan sensor *infrared* sebagai pendeteksi jalur navigasi robot. Sensor *infrared* bekerja dengan memanfaatkan pantulan cahaya *infrared* untuk mendeteksi keberadaan objek atau garis tertentu. Sensor ini sering digunakan pada robot *line follower* karena memiliki respon yang cepat dan biaya implementasi yang relatif murah [5].

Penelitian ini juga memanfaatkan ESP32-CAM sebagai perangkat kamera yang digunakan untuk pemantauan visual lingkungan sekitar robot. ESP32-CAM merupakan modul mikrokontroler berbasis ESP32 yang telah dilengkapi dengan kamera serta konektivitas WiFi dan Bluetooth. Modul ini mampu menangkap gambar dan mengirimkan data secara nirkabel sehingga banyak digunakan pada aplikasi monitoring berbasis IoT. Dengan adanya kamera, robot dapat memperoleh informasi visual yang mendukung navigasi cerdas dan pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time*.

Sistem penggerak robot menggunakan driver motor L298N yang berfungsi mengontrol arah dan kecepatan putaran motor DC. Driver motor ini menggunakan konsep *dual H-bridge* sehingga mampu mengendalikan dua motor secara bersamaan. Kecepatan motor dapat diatur menggunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM), sedangkan arah putaran ditentukan melalui sinyal logika dari mikrokontroler. Driver motor L298N banyak digunakan pada sistem robot bergerak karena mudah diimplementasikan dan kompatibel dengan berbagai jenis motor DC [6].

Motor yang digunakan pada penelitian ini adalah motor DC gearbox yang memiliki torsi lebih besar dibanding motor DC biasa sehingga cocok digunakan pada aplikasi robot pelayan makanan.

Dalam proses pengembangan sistem, perangkat lunak juga memiliki peran yang sangat penting. Arduino IDE digunakan sebagai perangkat lunak utama dalam penulisan dan pengunggahan program ke mikrokontroler. Arduino IDE merupakan software *open source* berbasis bahasa pemrograman C/C++ yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem *embedded* dan robotika karena mudah digunakan serta mendukung berbagai jenis mikrokontroler [7].

Selain itu, EasyEDA digunakan untuk merancang skematik dan PCB, sedangkan Draw.io dimanfaatkan

untuk membuat diagram sistem dan *flowchart* penelitian.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pengembangan robot layanan berbasis multi-sensor. Zhao mengembangkan sistem obstacle avoidance berbasis kombinasi sensor ultrasonik dan infrared pada robot mobile. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa integrasi multi-sensor mampu meningkatkan kemampuan robot dalam mendeteksi halangan, meskipun masih memiliki keterbatasan pada kondisi lingkungan tertentu. Uşinskis juga menjelaskan pentingnya sensor fusion dalam sistem navigasi robot otonom untuk meningkatkan akurasi dan stabilitas pergerakan robot pada lingkungan yang dinamis. Sementara itu, Kao meneliti implementasi robot pelayanan pada restoran dan menemukan bahwa robot mampu meningkatkan efisiensi pelayanan, namun masih memiliki kendala pada navigasi dan stabilitas saat membawa makanan.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengembangan robot pelayan makanan berbasis navigasi cerdas dan multi-sensor masih memiliki peluang untuk dikembangkan lebih lanjut, khususnya dalam menciptakan sistem robot *low-cost* yang mampu bekerja secara otomatis, aman, dan efisien pada lingkungan restoran nyata. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada perancangan prototipe robot pelayan makanan otomatis dengan integrasi sensor infrared, sensor ultrasonik, dan ESP32-CAM untuk mendukung navigasi cerdas dan deteksi halangan secara real-time.

2.1. Esp32



Gambar 1. Esp32

ESP32 merupakan sebuah mikrokontroler yang dikembangkan oleh perusahaan Espressif Systems yang dirancang untuk mendukung kebutuhan sistem *embedded* dan *Internet of Things* (IoT). ESP32 memiliki kemampuan pemrosesan data yang cepat serta dilengkapi dengan fitur komunikasi nirkabel berupa Wi-Fi dan Bluetooth dalam satu chip. Dengan adanya fitur tersebut, ESP32 banyak digunakan dalam berbagai pengembangan alat otomatisasi, *monitoring*, kontrol jarak jauh, robotika, dan sistem cerdas lainnya [3].

2.2. Baterai lithium 18650

Baterai Lithium 18650 merupakan salah satu jenis baterai *rechargeable* atau baterai isi ulang yang banyak digunakan pada perangkat elektronik *portable*, sistem robotika, serta perangkat berbasis *Internet of*

Things (IoT). Nama 18650 berasal dari ukuran fisik baterai, yaitu diameter 18 mm dan panjang 65 mm. Baterai ini menggunakan teknologi lithium-ion yang memiliki kapasitas penyimpanan energi cukup besar serta mampu menghasilkan tegangan yang stabil.



Gambar 2. Baterai lithium 18650

2.3. Sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) VL53L1X ToF



Gambar 3. Sensor jarak berbasis *time-of-flight* (ToF) VL53L1X ToF

VL53L1X merupakan sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur jarak suatu objek. Sensor ini bekerja dengan memancarkan cahaya inframerah dan mengukur waktu yang diperlukan cahaya untuk dipantulkan kembali dari objek. Data jarak yang diperoleh dapat digunakan oleh mikrokontroler untuk mendeteksi keberadaan halangan pada jalur robot. Sensor VL53L1X memiliki ukuran yang relatif kecil dan dapat digunakan pada berbagai aplikasi robotika dan sistem otomatisasi [8].

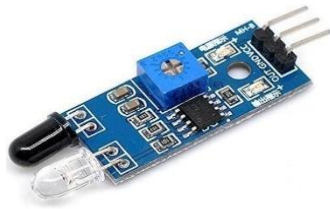
2.4. Esp32-cam



Gambar 4. Esp32-cam

ESP32-CAM merupakan sebuah modul mikrokontroler berbasis ESP32 yang telah dilengkapi dengan kamera dan fitur komunikasi nirkabel berupa Wi-Fi serta Bluetooth. Modul ini dikembangkan oleh Espressif Systems untuk mendukung berbagai aplikasi *Internet of Things* (IoT), sistem monitoring, robotika, dan pengolahan citra digital. Dengan ukuran yang kecil namun memiliki fitur lengkap, ESP32-CAM menjadi salah satu perangkat yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem otomatis dan cerdas.

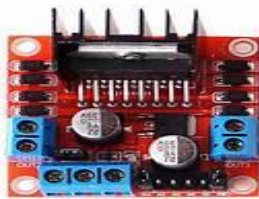
2.5. Sensor infrared



Gambar 5. Sensor *infrared*

Sensor *Infrared* merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek dengan memanfaatkan sinar inframerah. Sensor ini bekerja dengan cara memancarkan cahaya inframerah melalui *infrared* transmitter kemudian menerima pantulan cahaya menggunakan *infrared* receiver. Sensor *infrared* banyak digunakan pada sistem otomatisasi, robotika, sistem keamanan, dan perangkat elektronik lainnya karena memiliki respon yang cepat serta mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler [5].

2.6. Driver motor L298N



Gambar 6. Driver motor L298N

L298N merupakan modul *driver* motor yang digunakan untuk mengendalikan arah putaran dan kecepatan motor DC maupun motor stepper. Modul ini menggunakan IC L298N yang bekerja dengan konsep *dual H-Bridge* sehingga mampu mengontrol dua motor DC secara bersamaan. *Driver* motor L298N banyak digunakan dalam bidang robotika, otomasi, dan sistem kendali karena mudah dihubungkan dengan berbagai jenis mikrokontroler.

2.7. Motor DC



Gambar 7. Gearbox motor DC

Gearbox Motor DC merupakan motor listrik arus searah (*Direct Current*) yang dikombinasikan dengan sistem gearbox atau roda gigi untuk menghasilkan torsi yang lebih besar dan putaran yang lebih stabil. Gearbox pada motor berfungsi untuk mengurangi kecepatan putaran motor sekaligus meningkatkan tenaga putar sehingga motor mampu menggerakkan

beban yang lebih berat. Komponen ini banyak digunakan dalam bidang robotika, otomasi, kendaraan otomatis, dan berbagai sistem penggerak lainnya [6]

2.8. Roda robot



Gambar 8. Roda robot

Roda Robot merupakan salah satu komponen mekanik yang berfungsi sebagai media pergerakan pada robot *mobile*. Roda digunakan untuk mengubah tenaga putar yang dihasilkan motor menjadi gerakan translasi sehingga robot dapat berpindah posisi sesuai arah yang diinginkan. Penggunaan roda pada robot dinilai lebih efisien untuk lintasan datar karena memiliki konstruksi sederhana, stabil, dan mudah dikendalikan.

2.9. Perangkat Lunak (Software)



Gambar 9. Arduino IDE

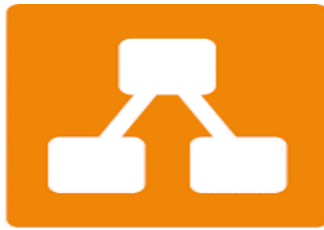
Arduino IDE merupakan sebuah perangkat lunak *open source* yang digunakan untuk menulis, mengedit, mengompilasi, dan mengunggah program ke papan mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32. Arduino IDE memiliki tampilan antarmuka yang sederhana sehingga mudah dipahami oleh pemula maupun pengembang sistem elektronika dan robotika [7].



Gambar 10. Fritzing

Fritzing merupakan perangkat lunak *open source* yang digunakan untuk merancang dan mendokumentasikan rangkaian elektronika. Aplikasi ini dirancang khusus untuk membantu pengguna dalam membuat skema rangkaian, desain breadboard, serta layout Printed Circuit Board (PCB) dengan tampilan yang sederhana dan mudah dipahami. Fritzing banyak digunakan dalam bidang pendidikan,

penelitian, robotika, dan pengembangan perangkat berbasis mikrokontroler.



Gambar 11. Draw.io

Draw.io merupakan aplikasi berbasis web yang digunakan untuk membuat berbagai jenis diagram seperti flowchart, blok diagram, UML, jaringan sistem, dan diagram alur kerja lainnya. Draw.io dikenal sebagai salah satu aplikasi diagram yang mudah digunakan karena memiliki tampilan antarmuka sederhana, responsif, dan mendukung proses desain secara online maupun offline.



Gambar 12. EasyEDA

EasyEDA merupakan aplikasi *Electronic Design Automation* (EDA) berbasis web yang digunakan untuk merancang rangkaian elektronika, membuat skematik, serta mendesain *Printed Circuit Board* (PCB). EasyEDA banyak digunakan dalam bidang elektronika, robotika, dan pengembangan perangkat berbasis mikrokontroler karena memiliki antarmuka yang sederhana, mudah digunakan, serta didukung oleh pustaka komponen yang lengkap.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Metode USD

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian “Perancangan Sistem Robot Pelayan Makanan Otomatis Berbasis Navigasi Cerdas dan Deteksi Halangan Multi-Sensor” adalah metode *User Centered Design* (UCD). Metode UCD digunakan karena proses pengembangan sistem difokuskan pada kebutuhan pengguna agar robot dapat membantu proses pelayanan makanan secara efektif dan mudah digunakan pada lingkungan restoran. Dalam proses *User Centered Design* (UCD) terdapat beberapa tahapan yaitu:

a. Plan The Human-Centered Process

Tahap ini dilakukan dengan mengidentifikasi permasalahan pada pelayanan restoran yang masih dilakukan secara manual sehingga dibutuhkan alat bantu berupa robot pelayan makanan otomatis untuk membantu proses pengantaran makanan.

b. Specify The Context Of Use

Tahap ini dilakukan dengan menganalisis kondisi penggunaan robot pada area restoran yang memiliki jalur tertentu dan kemungkinan terdapat halangan seperti meja, kursi, dan manusia yang melintas.

c. Specify User And Organizational Requirements

Pada tahap ini dilakukan identifikasi kebutuhan pengguna terhadap sistem, yaitu robot harus mampu mengikuti jalur secara otomatis, mendeteksi halangan, mengantarkan makanan menuju meja tujuan, dan kembali ke posisi awal.

d. Produce Design Solutions

Tahap ini dilakukan dengan proses perancangan sistem robot pelayan makanan otomatis yang meliputi perancangan line follower, perancangan sensor ultrasonik HC-SR04, perancangan mekanik robot, perancangan PCB, dan perancangan monitoring ESP32-CAM.

e. Evaluate Design Against User Requirements

Tahap evaluasi dilakukan dengan pengujian sistem robot seperti pengujian sensor, pengujian navigasi robot, dan pengujian keseluruhan sistem untuk memastikan robot bekerja sesuai kebutuhan pengguna.

3.2. Analisis Kebutuhan Sistem

Berikut kebutuhan perangkat keras yang digunakan pada robot pelayan makanan otomatis.

Tabel 1. Perangkat Keras (*Hardware*)

No	Nama Perangkat Keras	Fungsi
1	ESP32	Pusat kendali sistem
2	ESP32-CAM	Monitoring visual
3	Sensor jarak VL53L1X (ToF)	mendeteksi dan mengukur jarak
4	Sensor Infrared	Membaca jalur line follower
5	Driver Motor L298N	Pengontrol motor
6	Motor DC Gearbox	Penggerak robot
7	Baterai 18650	Sumber daya sistem
8	Roda Robot	Media pergerakan

Berdasarkan Tabel 1, perangkat keras yang digunakan memiliki fungsi yang saling mendukung dalam menjalankan sistem robot. ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali, sedangkan sensor dan perangkat penggerak digunakan untuk mendukung proses navigasi, deteksi halangan, serta pergerakan robot secara otomatis.

Tabel 2. Perangkat Lunak (*Software*)

No	Nama Perangkat Lunak	Fungsi
1	Arduino IDE	Membuat program ESP32
2	Fritzing	Membuat skema rangkaian
3	Draw.io	Membuat flowchart dan blok diagram
4	MIT App Inventor	Membuat antarmuka kontrol robot

No	Nama Perangkat Lunak	Fungsi
5	Program Kendali Robot	Mengontrol navigasi dan motor
6	Firmware ESP32-CAM	Monitoring visual robot
7	Sistem Komunikasi Bluetooth	Komunikasi nirkabel
8	EasyEDA	Membuat desain PCB

Berdasarkan Tabel 2, perangkat lunak yang digunakan mendukung proses pengembangan sistem, mulai dari pemrograman ESP32, perancangan rangkaian dan diagram, hingga pembuatan antarmuka serta monitoring robot. Seluruh perangkat lunak tersebut digunakan untuk menunjang proses perancangan dan pengoperasian sistem.

3.3. Perancangan Sistem

Perancangan sistem robot pelayan makanan otomatis dilakukan dengan mengintegrasikan beberapa komponen utama seperti ESP32, sensor *infrared*, sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) VL53L1X ToF, *driver* motor L298N, motor DC *gearbox*, dan ESP32-CAM. Sistem dirancang agar robot mampu bergerak secara otomatis mengikuti jalur *line follower* dan menghindari halangan pada area restoran.

Sensor *infrared* digunakan untuk mendeteksi jalur navigasi robot, sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) digunakan untuk mendeteksi keberadaan halangan, sedangkan ESP32-CAM digunakan sebagai pendukung pemantauan *visual*. Sistem dikendalikan menggunakan ESP32 yang terintegrasi dengan *driver* motor L298N dan motor DC *gearbox* sebagai aktuator penggerak robot.

ESP32 digunakan sebagai pusat pengendali utama sistem yang bertugas memproses seluruh data dari sensor dan mengontrol pergerakan robot. Sensor *infrared* digunakan untuk membaca jalur garis hitam sebagai navigasi robot, sedangkan sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) digunakan untuk mendeteksi objek atau halangan di depan robot.

Driver motor L298N digunakan sebagai pengontrol arah putaran dan kecepatan motor DC *gearbox* sehingga robot dapat bergerak maju, belok kanan, belok kiri, dan berhenti secara otomatis. ESP32-CAM digunakan sebagai monitoring visual lingkungan sekitar robot secara *real-time*.

Robot dirancang menggunakan roda penggerak berbasis motor DC *gearbox* dan sumber daya baterai lithium 18650 sebagai catu daya utama sistem [9]

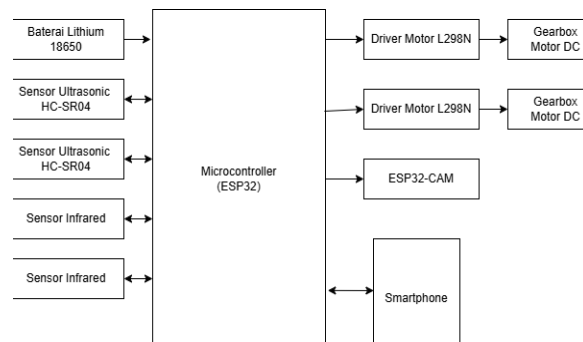
Alur kerja robot pelayan makanan otomatis yaitu:

- Sistem dinyalakan menggunakan sumber daya baterai.
- ESP32 melakukan inisialisasi seluruh sensor dan komponen sistem.
- Sensor *infrared* membaca jalur *line follower*.
- Robot bergerak mengikuti jalur secara otomatis.

- Sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) VL53L1X ToF mendeteksi adanya objek di depan robot.
- Jika terdapat halangan maka robot berhenti sementara.
- Setelah jalur aman robot kembali bergerak mengikuti jalur.
- ESP32-CAM melakukan *monitoring visual* secara *real-time*.
- Robot menuju meja tujuan dan kembali ke posisi awal secara otomatis.

3.4. Blok Diagram

Berikut adalah blok diagram robot pelayan makanan otomatis berbasis ESP32.



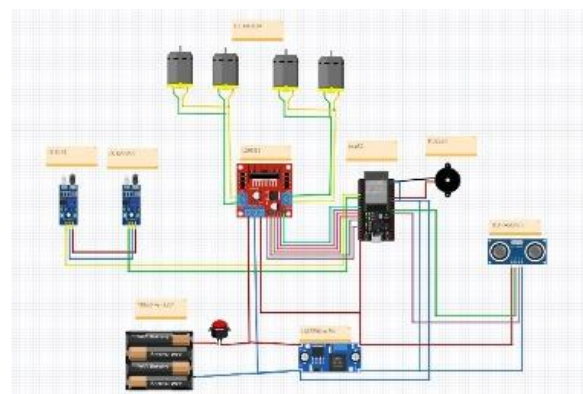
Gambar 13. Blok Diagram

Pada bagian *input*, sistem dilengkapi dengan Dua buah sensor *infrared* sebagai pendeteksi jalur navigasi robot. Modul Bluetooth HC-05 sebagai *input* kendali manual dari pengguna. Data yang diperoleh dari sensor *infrared* dan modul Bluetooth selanjutnya diproses oleh mikrokontroler ESP32

Hasil pemrosesan tersebut digunakan untuk mengendalikan motor DC melalui *driver* motor, sehingga robot dapat bergerak sesuai jalur, menghindari halangan, dan merespons perintah pengguna dengan baik.

3.5. Skema Diagram

Berikut adalah skema diagram robot pelayan makanan otomatis.



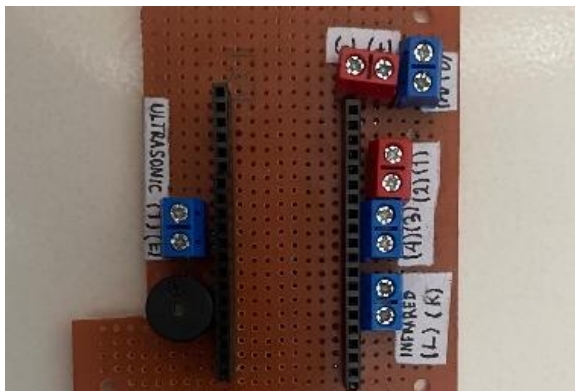
Gambar 14. Skema Diagram

Skema diagram menunjukkan hubungan antar komponen elektronik pada robot pelayan makanan otomatis. Sensor *infrared* dan sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) VL53L1X ToF dihubungkan ke ESP32 sebagai *input* sistem. *Driver* motor L298N digunakan untuk mengontrol arah putaran motor DC *gearbox*. ESP32-CAM digunakan sebagai *monitoring visual* berbasis WiFi.

3.6. PCB

PCB (*Printed Circuit Board*) digunakan sebagai media penghubung antar komponen elektronik pada robot pelayan makanan otomatis. PCB dirancang untuk mempermudah proses pemasangan komponen, mengurangi penggunaan kabel yang berlebihan, serta meningkatkan kerapian dan keandalan sistem.

Pada penelitian ini PCB dibuat menggunakan papan PCB berlubang (*perfboard*) yang digunakan untuk menempatkan modul ESP32 sebagai pengendali utama sistem. Selain itu, PCB juga dilengkapi dengan konektor untuk sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) VL53L1X ToF, sensor *infrared*, buzzer, dan sumber daya sistem. Seluruh komponen disusun secara terintegrasi sehingga memudahkan proses instalasi dan pemeliharaan perangkat.

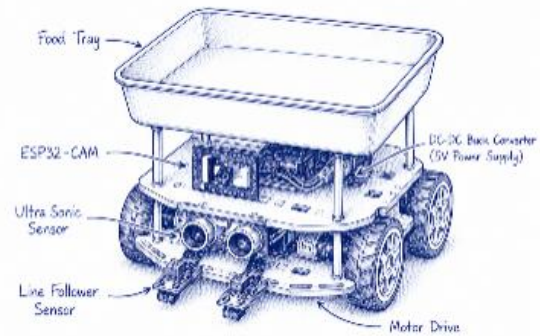


Gambar 15. PCB

Berdasarkan Gambar di atas, PCB berfungsi sebagai pusat koneksi antara ESP32 dengan seluruh sensor dan aktuator yang digunakan pada sistem robot pelayan makanan otomatis. Penggunaan PCB membuat rangkaian lebih rapi, mengurangi kesalahan pemasangan kabel, serta meningkatkan stabilitas kerja sistem secara keseluruhan.

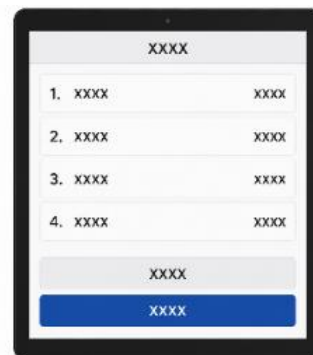
3.7. Interface

Interface digunakan sebagai media interaksi antara pengguna dan robot pelayan makanan otomatis. *Interface* dirancang untuk memudahkan pengguna dalam melakukan pemantauan dan pengendalian robot selama proses pengantaran makanan. Tampilan *interface* menampilkan *status* koneksi robot, kondisi baterai, *monitoring* kamera ESP32-CAM, serta tombol kendali robot seperti maju, mundur, kiri, kanan, berhenti, dan kirim ke meja tujuan [10].



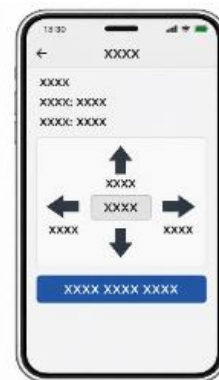
Gambar 16. Interface Pada Alat

Pada gambar 16 di atas menunjukkan struktur fisik robot yang dirancang untuk stabilitas pengantaran makanan.



Gambar 17. Interface Pada Tablet

Interface pada tablet digunakan sebagai media pemesanan makanan oleh pelanggan. Pelanggan dapat memilih menu yang tersedia dan menentukan nomor meja tujuan. Nomor meja digunakan sebagai identitas tujuan pengantaran dan dipetakan ke titik pemberhentian yang telah ditentukan pada lintasan robot. Setelah pesanan dikirim, sistem meneruskan informasi menu dan nomor meja kepada sistem kendali robot. Robot kemudian mengikuti jalur menuju titik pemberhentian yang sesuai dengan nomor meja yang dipilih. Dengan demikian, tujuan robot tidak hanya ditentukan berdasarkan perintah menuju meja, tetapi berdasarkan pemetaan nomor meja terhadap titik berhenti tertentu pada lintasan.



Gambar 18. Interface Pada Hp

Interface kontrol robot pada *smartphone* digunakan untuk melakukan pemantauan dan pengendalian robot secara langsung. Tampilan ini menyediakan informasi *status* robot, kondisi baterai, serta tombol navigasi seperti maju, mundur, kiri, kanan, dan berhenti. Selain itu, tersedia tombol pengiriman robot menuju meja tujuan sesuai pesanan yang telah diterima sistem.

Berdasarkan hasil perancangan *interface*, sistem mampu memberikan kemudahan bagi pengguna dalam melakukan pemesanan makanan, pemantauan kondisi robot, serta pengendalian robot secara *real-time* sehingga proses pelayanan makanan dapat berjalan lebih efektif dan efisien.

3.8. Penelitian Terkait

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait pengembangan robot pelayan makanan dan sistem navigasi robot. Penelitian oleh Anggara et al. menunjukkan bahwa ESP32 mampu diterapkan pada sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mendukung komunikasi dan pengendalian perangkat secara *real-time* [3].

Selanjutnya, penelitian Akbar dan Seliwati menunjukkan bahwa sensor *infrared* dapat digunakan sebagai pendeteksi objek dan jalur pada sistem otomatis berbasis mikrokontroler [5].

Penelitian Pradana et al. menunjukkan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 mampu mendeteksi jarak objek dengan baik sehingga dapat digunakan sebagai sistem deteksi halangan pada robot bergerak [4].

Selain itu, penelitian Cahyo dan Rahmadiansyah berhasil menerapkan sistem robot bergerak berbasis Arduino yang mampu meningkatkan efisiensi proses kerja secara otomatis [6].

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, masih terdapat peluang untuk mengembangkan sistem robot pelayan makanan yang mengintegrasikan beberapa sensor dalam satu sistem navigasi cerdas. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan robot pelayan makanan otomatis berbasis ESP32 yang mengintegrasikan sensor *infrared* sebagai *line follower*, sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) VL53L1X ToF sebagai pendeteksi halangan, serta ESP32-CAM sebagai media *monitoring visual* secara *real-time*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil implementasi dan pengujian Robot Pelayan Makanan Otomatis Berbasis Navigasi Cerdas dan Deteksi Halangan Multi-Sensor. Implementasi dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dirancang sehingga membentuk sistem robot yang mampu mengikuti jalur, mendeteksi halangan, dan mengantarkan makanan secara otomatis. Selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengetahui kinerja sistem dalam menjalankan fungsi-fungsi tersebut.

4.1. Implementasi Alat

Tahap implementasi merupakan proses realisasi hasil perancangan sistem robot pelayan makanan otomatis berbasis navigasi cerdas dan deteksi halangan multi-sensor. Implementasi dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dirancang pada tahap sebelumnya menjadi sebuah sistem yang dapat beroperasi secara otomatis.

Perangkat keras yang digunakan terdiri dari ESP32 sebagai mikrokontroler utama, sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) VL53L1X ToF untuk mendeteksi halangan, sensor *infrared* sebagai pendeteksi jalur, *driver* motor L298N sebagai pengendali motor DC, motor *gearbox* sebagai penggerak roda robot, serta baterai lithium 18650 sebagai sumber daya sistem. ESP32-CAM digunakan sebagai perangkat pemantau visual. Seluruh komponen dipasang pada rangka robot yang dilengkapi wadah (*tray*) sebagai tempat meletakkan makanan.

Pada sisi perangkat lunak, sistem dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++. Program dirancang untuk membaca data sensor secara *real-time*, mengendalikan pergerakan motor, mendeteksi keberadaan halangan, serta menjalankan navigasi robot mengikuti jalur yang telah ditentukan.



Gambar 19. Implementasi Alat

Robot pelayan makanan otomatis berhasil direalisasikan sesuai hasil perancangan. Sensor *infrared* ditempatkan pada bagian depan bawah robot untuk membaca lintasan, sensor jarak ditempatkan pada bagian depan untuk mendeteksi halangan, sedangkan ESP32 dipasang pada bagian tengah sebagai pengendali utama sistem. ESP32-CAM dipasang sebagai perangkat pemantauan visual. Wadah makanan ditempatkan pada bagian atas robot untuk membawa pesanan menuju meja tujuan.

4.2. Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui kinerja Robot Pelayan Makanan Otomatis Berbasis Navigasi Cerdas dan Deteksi Halangan Multi-Sensor yang telah dirancang. Pengujian meliputi kemampuan robot dalam mengikuti jalur navigasi, mendeteksi halangan, serta bergerak menuju tujuan sesuai lintasan yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan pada

lintasan yang dibuat menyerupai jalur pergerakan robot di lingkungan restoran.

4.3. Pengujian Sensor *Infrared*

Pengujian sensor *infrared* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca jalur yang digunakan sebagai panduan navigasi robot. Sensor ditempatkan pada bagian bawah robot dan digunakan untuk mendeteksi perbedaan warna antara garis lintasan dan permukaan dasar.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor *Infrared*

No	Kondisi Pengujian	Hasil Pengujian	Hasil
1	Jalur lurus	Sensor mampu membaca garis dan robot mengikuti lintasan	Berhasil
2	Belok kiri	Sensor mampu membaca perubahan arah lintasan dan robot berbelok ke kiri	Berhasil
3	Belok kanan	Sensor mampu membaca perubahan arah lintasan dan robot berbelok ke kanan	Berhasil
4	Persimpangan	Sensor mampu mendeteksi lintasan pada persimpangan	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian, sensor *infrared* mampu mendeteksi lintasan dengan baik sehingga robot dapat mengikuti jalur yang telah ditentukan tanpa keluar dari lintasan.

4.4. Pengujian Sensor Jarak

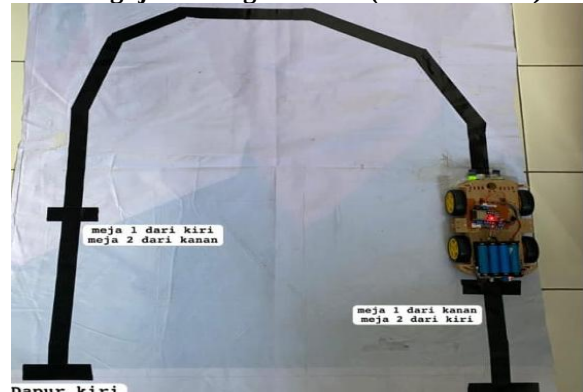
Pengujian sensor Jarak dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi keberadaan objek atau halangan yang berada di depan robot. Sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) digunakan untuk mengukur jarak antara sensor dan objek berdasarkan waktu tempuh cahaya hingga di terima kembali oleh sensor.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor Jarak

No	Jarak Objek (cm)	Hasil Deteksi	Status
1	10	Objek terdeteksi	Terdeteksi
2	20	Objek terdeteksi	Terdeteksi
3	30	Objek terdeteksi	Terdeteksi
4	40	Objek terdeteksi	Terdeteksi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) dapat mendeteksi objek dengan baik pada jarak pengujian, sehingga dapat digunakan sebagai sistem deteksi halangan pada robot.

4.5. Pengujian Navigasi Robot (*Line Follower*)



Gambar 20. Pengujian Robot Mengikuti Jalur

Pengujian navigasi robot dilakukan untuk mengetahui kemampuan robot mengikuti jalur menuju meja tujuan menggunakan metode *line follower*. Pengujian dilakukan pada Meja 1 dan Meja 2 dengan mengukur jarak, waktu tempuh, dan penyimpangan maksimum robot terhadap jalur.

Tabel 5. Pengujian *Line Follower*

Percobaan	Jalur	Jarak (m)	Waktu (s)	Penyimpangan maksimum (cm)	Status
1	Meja 1	5,0	42,3	1,8	Berhasil
2	Meja 1	5,0	41,7	2,1	Berhasil
3	Meja 1	5,0	45,2	3,4	Berhasil
4	Meja 2	6,5	48,2	4,6	Berhasil
5	Meja 2	6,5	51,5	5,3	Berhasil
6	Meja 2	6,5	55,3	6,1	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian, seluruh percobaan berhasil dan robot mampu mengikuti jalur menuju Meja 1 dan Meja 2 dengan waktu tempuh serta penyimpangan yang tercatat. Hasil ini menunjukkan robot mampu mencapai meja tujuan sesuai jalur yang ditentukan.

Pengujian navigasi robot dilakukan untuk menguji kemampuan robot mencapai tujuan pengantaran pada Meja 1 dan Meja 2. Robot dijalankan mengikuti lintasan menuju masing-masing meja, kemudian diamati apakah dapat mencapai tujuan dengan benar.

Tabel 6. Hasil Pengujian Navigasi Robot

No	Tujuan Pengantaran	Hasil Navigasi	Status
1	Meja 1	Robot berhasil mengikuti jalur menuju Meja 1	Berhasil
2	Meja 2	Robot berhasil mengikuti jalur menuju Meja 2	Berhasil

Berdasarkan Tabel 6, robot berhasil mencapai Meja 1 dan Meja 2 sesuai jalur yang ditentukan. Hal ini menunjukkan fungsi navigasi berjalan sesuai rancangan.

Rekapitulasi pengujian fungsional sistem dilakukan untuk menilai kinerja utama robot pelayan makanan otomatis secara keseluruhan, meliputi deteksi jalur, deteksi halangan, dan navigasi ke meja tujuan. Hasil pengujian sebelumnya dirangkum untuk memastikan setiap fungsi berjalan sesuai kondisi yang ditetapkan.

Tabel 7. Rekapitulasi Pengujian Fungsional Sistem

No	Fungsi Sistem	Kondisi Pengujian	Hasil
1	Deteksi jalur	Jalur lurus	Berhasil
2	Deteksi jalur	Belok kiri	Berhasil
3	Deteksi jalur	Belok kanan	Berhasil
4	Deteksi jalur	Persimpangan	Berhasil
5	Deteksi halangan	Objek 10 cm	Terdeteksi
6	Deteksi halangan	Objek 20 cm	Terdeteksi
7	Deteksi halangan	Objek 30 cm	Terdeteksi
8	Deteksi halangan	Objek 40 cm	Terdeteksi
9	Navigasi	Meja 1	Berhasil
10	Navigasi	Meja 2	Berhasil
11	Navigasi	Meja 3	Berhasil
12	Navigasi	Meja 4	Berhasil

Berdasarkan Tabel 7, seluruh fungsi yang diuji berjalan sesuai kondisi. Deteksi jalur berhasil pada semua skenario, deteksi halangan bekerja pada seluruh jarak pengujian, dan navigasi berhasil menuju Meja 1 dan Meja 2. Hasil ini menunjukkan sistem robot pelayan makanan otomatis berfungsi sesuai rancangan.

4.6. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem robot pelayan makanan otomatis dapat bekerja sesuai dengan perancangan yang telah dibuat. Sensor *infrared* mampu mendeteksi jalur navigasi dengan baik sehingga robot dapat bergerak mengikuti lintasan secara otomatis. Sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) juga mampu mendeteksi keberadaan halangan di depan robot sehingga dapat meningkatkan keamanan saat robot beroperasi.

Pada pengujian navigasi, robot berhasil mengikuti lintasan yang terdiri dari jalur lurus maupun tikungan tanpa mengalami penyimpangan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara sensor *infrared*, sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF), ESP32-CAM, dan motor DC telah berjalan dengan baik. Dengan demikian, prototipe robot pelayan makanan otomatis yang dikembangkan telah mampu menjalankan fungsi dasar sebagai sistem pengantaran makanan otomatis pada lingkungan restoran.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, Robot Pelayan Makanan Otomatis Berbasis Navigasi Cerdas dan Deteksi Halangan Multi-Sensor berhasil dirancang dan diimplementasikan sesuai tujuan penelitian. Sistem yang menggunakan ESP32-CAM, sensor *infrared*,

sensor jarak berbasis *Time-of-Flight* (ToF) VL53L1X ToF, *driver* motor L298N, dan motor DC *gearbox* mampu mengikuti jalur navigasi serta mendeteksi halangan selama proses pergerakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot dapat bergerak secara otomatis mengikuti lintasan yang telah ditentukan dengan baik. Untuk penelitian selanjutnya, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan metode navigasi yang lebih cerdas, meningkatkan akurasi deteksi objek, serta menambahkan fitur pemetaan ruangan dan pemilihan tujuan otomatis agar robot dapat beroperasi lebih optimal pada lingkungan restoran yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Pranoto, Syafari, D. Ramdana, Adi, I. Andriana, Mohammad, and Indra, "Rancang Bangun Sistem Informasi Lembaga Penjaminan Mutu Internal Berbasis Website Untuk Optimalisasi Pengelolaan Monitoring Dan Evaluasi Perguruan Tinggi," *JITET (Jurnal Inform. dan Tek. Elektro Ter.*, vol. 14, no. 1, pp. 1127–1137, 2025.
- [2] M. Qomaruddin, W. Bismi, and Y. S. Sakata, "Rancang Bangun Sistem Informasi Terintegrasi Untuk Donasi Dan Barter Barang Berbasis Website," *IMTechno J. Ind. Manag. Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 50–56, 2025.
- [3] E. Anggara, Wahyu, Febri, H. Yuana, and D. Puspitasari, Wahyu, "Rancang Bangun Alat Monitor Ketinggian Air Berbasis Internet Of Things (Iot) Menggunakan Esp32 Dan Framework Blynk," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 7, no. 5, pp. 3837–3845, 2023.
- [4] W. Pradana, Rizky, F. Pratiwi, Ganjar, and N. Arifin, TRI, "Rancang Bangun Sistem Pemantau Ketinggian Air Otomatis Menggunakan Sensor Ultrasonik (Hc-Sr04) Berbasis Arduino Uno Dengan Antarmuka Komputer Berbasis Microsoft Visual Basic 6 . 0," *J. Tek. dan Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 13–24, 2024.
- [5] M. Akbar, Bilal and Seliwati, "Otomatisasi Dispenser Menggunakan Sensor Infrared Dan Sensor Noncontact Liquid Level Sensor Berbasis Arduino," *JITS (Journal Inf. Technol. Student)*, vol. 4, pp. 1–8, 2025.
- [6] D. Cahyo, Teguh and D. Rahmadiansyah, "Efisiensi Waktu Proses Pembersihan Karpet Menggunakan Robot Cleaner Berbasis Arduino Pada Mesjid Al Muslimin Kelurahan Ladang Bambu Medan Tuntungan," *J. Multidisiplin Ilmu Akad.*, vol. 2, no. 4, pp. 514–531, 2025.
- [7] Rismawati, S. Paembonan, and R. Suppa, "Rancang Bangun Keamanan Pintu Otomatis Menggunakan E-Ktp Berbasis Arduino Uno," *JITET (Jurnal Inform. dan Tek. Elektro Ter.*, vol. 12, no. 3, pp. 2352–2364, 2024.
- [8] R. Sudrajat and F. Rofifah, "Rancang Bangun Sistem Kendali Kipas Angin dengan Sensor Suhu dan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino Uno,"

- E-Jurnal Manaj. Inform. Komput.*, vol. 7, pp. 555–564, 2023.
- [9] N. Agung, farhan and B. Junaedi, Ifan, Yulianto Akmal, “Perancangan Sistem Informasi Pelayanan Customer Dengan Platform Web,” *J. Manaj. Inform. Jayakarta*, vol. 2, no. September, pp. 320–325, 2022, doi: 10.52362/jmijayakarta.v2i4.916.
- [10] S. Ramadhani, Muhammad and H. Putra, Surya, “Perancangan Aplikasi E-Learning Berbasis Web pada SMA Negeri 1 Percut Sei Tuan dengan Metode Prototype,” *E-Jurnal Manaj. Inform. Komput.*, vol. 10, no. 1, pp. 272–281, 2026.