

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Teknologi yang terus berkembang saat ini telah menciptakan berbagai kemajuan di bidang robotika. Dimana perkembangan ini telah menciptakan berbagai jenis robot dengan kemampuan yang berbeda-beda. Salah satunya adalah robot *wall follower*, Wall follower adalah salah satu metode navigasi itu digunakan untuk menelusuri permukaan dinding. Menggunakan Algoritma ini bertujuan untuk menjaga jarak robot dari dinding agar robot tetap berada di tengah lintasan dan pertahankan posisi robot sejajar dengan dinding selama robot bergerak maju. Perkembangan mikrokontroler sebagai komponen utama dalam sistem robotik telah membuka peluang besar untuk mengembangkan robot wall follower yang lebih efisien dan cerdas. Mikrokontroler memungkinkan integrasi yang lebih mudah dengan sensor dan aktuator, serta memberikan fleksibilitas dalam pengembangan algoritma untuk meningkatkan kemampuan robot dalam mengikuti dinding secara akurat. (Wahyudi et al., 2017)

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada perancangan dan implementasi robot wall follower berbasis mikrokontroler dengan tujuan untuk mengembangkan robot yang mampu mengikuti dinding secara stabil dan efisien dalam berbagai kondisi lingkungan. Dengan mengintegrasikan sensor jarak dan

algoritma pengendalian yang tepat, diharapkan robot ini dapat menjadi solusi yang efektif untuk aplikasi-aplikasi praktis di masa depan.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka peneliti akan merancang dan membuat robot *wall follower*. Pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler yaitu arduino ide sebagai pengontrol dari robot yang menginput data dari 3 buah sensor ultrasonik dan sensor tcr1 5000, kemudian menggunakan 2 buah motor DC yang dikendalikan oleh 1 motor driver L298N.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem mekanik pada robot wall follower untuk mengikuti dinding sebelah kiri dan kanan
2. Bagaimana merancang rangkaian elektronik pada robot wall follower?
3. Bagaimana mengimplementasikan rancangan sistem mekanik pada robot wall follower
4. Bagaimana pengaruh perubahan nilai pwm terhadap kestabilan pergerakan robot wall follower dalam mengikutidinding

C. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui rancangan sistem mekanik robot wall follower
2. Mengetahui rancangan rangkaian elektronik robot wall follower
3. Mengetahui rancangan algoritma pada robot wall follower
4. Mengetahui pengaruh perubahan nilai pwm terhadap kestabilan pergerakan robot wall follower

D. Batasan Masalah

1. Menggunakan Arduino Uno sebagai pengontrol
2. Menggunakan 3 sensor Ultrasonik Hc-Sr04 sebagai pendeteksi jarak
3. Berfokus pada pergerakan robot wall follower untuk mengikuti dinding kiri atau kanan
4. Menggunakan 1 sensor TCR 5000 sebagai pendeteksi garis titik start dan titik finish

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yaitu untuk mempermudah pemahaman dan memberikan gambaran penulis dan pembaca, maka dikemukakan penjelasan sesuai dengan batasan masalah

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Sistem Navigasi Wall Follower

Wall follower adalah salah satu metode navigasi itu digunakan untuk menelusuri permukaan dinding. Menggunakan Algoritma ini bertujuan untuk menjaga jarak robot dari dinding agar robot tetap berada di tengah lintasan dan pertahankan posisi robot sejajar dengan dinding selama robot bergerak maju.

Pada dasarnya ada dua metode browsing di dinding navigasi pengikut dinding, yaitu metode pencarian dinding semakin meningkat dan telusuri dinding kiri. Jika menggunakan metode pencarian dinding kiri, maka fungsi input adalah untuk membaca data sensor jarak yang ada di sisi kiri robot. Sebaliknya, jika menggunakan metode pencarian dinding kanan, lalu fungsinya input yang dibaca adalah sensor jarak di sisi kanan robot.(Wahyudi et al., 2017)

a. *Left Hand Rule*

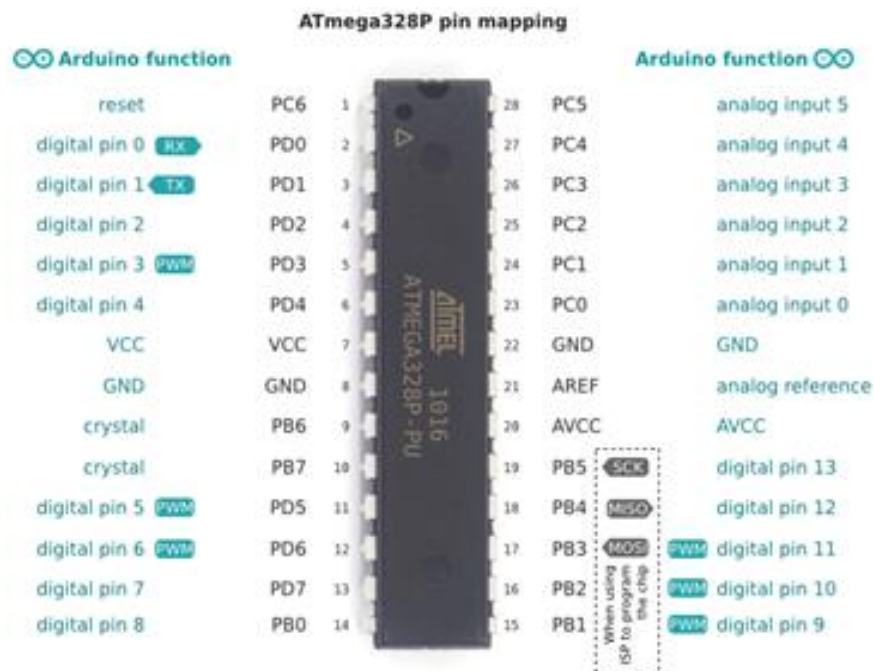
Dalam left hand rule, robot akan lebih memilih untuk belok kiri dari pada lurus atau belok kanan dan jika tidak ada belokan ke kiri akan lebih memilih lurus dari pada belok kanan.

b. *Right Hand Rule.*

Dalam right hand rule, robot akan lebih memilih belok kanan dari pada lurus dan lebih memilih lurus dari pada belok kiri.

2. **Mikrokontroler**

Mikrokontroler adalah sistem komputer fungsional dalam sebuah keping. Ini berisi inti prosesor, memori (sejumlah kecil RAM, memori program, atau keduanya), dan peralatan input-output. Dalam sebuah kata Di sisi lain, mikrokontroler adalah perangkat elektronik digital yang memiliki input dan output dan kontrol dengan program yang dapat ditulis dan dihapus dengan cara khusus, bagaimana sebenarnya mikrokontroler membaca dan menulis data. Mikrokontroler adalah komputer dalam sebuah chip digunakan untuk mengontrol peralatan elektronik, yaitu mengutamakan efisiensi dan efektifitas biaya. Secara harfiah dapat disebut "pengontrol kecil" di mana sistem elektronika yang sebelumnya membutuhkan banyak komponen pendukung seperti IC TTL dan CMOS dikurangi / diminimalkan dan akhirnya terpusat dan dikendalikan oleh mikrokontroler ini.



Gambar 2. 1 Mikrokontroler ATMEGA328P-PU
(Sumber: menara ilmu mikrokontroler.com)

Arduino Uno merupakan sebuah papan mikrokontroler yang berbasis ATmega328. Arduino jenis ini memiliki 14 pin input/output digital (dengan 6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, 16 resonator keramik MHz, koneksi USB, koneksi untuk catu daya, header ICSP, dan tombol reset. Untuk menyalakannya, Mikrokontroler ini dapat dihubungkan dengan komputer menggunakan koneksi USB, menggunakan adaptor AC-DC, atau baterai.(Ari et al., 2014)



Gambar 2. 2 Arduino Uno
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno

Mikrokontroller	ATMega 328
Tegangan Operasional	5V
Tegangan <i>Input</i> (Rekomendasi)	7V – 12V
Pin I/O Digital	14
Pin Analog	6
Arus DC Pin I/O	50mA
Arus DC ketika 3.3V	50mA
Memory flash	32KB
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Kecepatan ClocK	16MHz

3. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonic HC-SR04 adalah sensor yang bisa digunakan untuk mengukur jarak robot ke dinding. Prinsip kerja sensor HC-SR04 terdiri dari dua bagian yaitu, yang pertama adalah transmitter yang berguna untuk mengkonversi sinyal elektrik menjadi 40 KHz. pada bagian receiver ia akan menerima sinyal pantulan dari transmitter lalu diukur waktunya dibutuhkan gelombang untuk kembali dari pantulan objek dan diterima oleh penerima gelombang. Jangkauan Minimum pada sensor ultrasonik yaitu 2cm/20mm dan Jangkauan Maksimum yaitu 4m/400cm. (Krisnayoga et al., 2019)



Gambar 2. 3 Sensor Ultrasonik
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Tabel 2.2 Fungsi Pin Modul Sensor Ultrasonik

PIN	FUNGSI
VCC	Sumber tegangan
TRIGGER	Pemicu sinyal sonar dari sensor
ECHO	Penangkap pantulan sinyal sonar
GND	GROUND

4. **Motor DC**

Motor DC adalah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi Mekanisme ini digunakan untuk, misalnya, memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, bahan pengangkat, dll. Motor DC juga digunakan di rumah-rumah (mixer, bor listrik, fanangin) dan di industri. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan angker disebut rotor (bagian yang berputar). Jika rotasi terjadi pada kumparan jangkar di lapangan magnet, akan timbul tegangan (EMF) yang berubah arah setiap setengah putaran, begitulah tegangan bolak-balik(Ari et al., 2014)

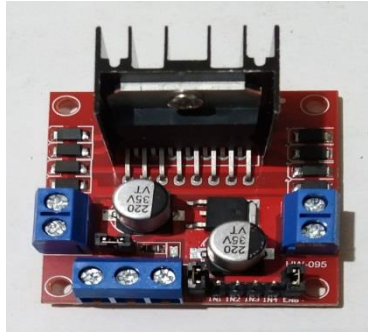


Gambar 2. 4 Motor DC
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

5. **Motor Driver L298N**

Driver motor merupakan salah satu perangkat yang digunakan untuk pengendalian motor DC. Pengemudi motor bertugas mengendalikan arah putaran dan kecepatan motor DC untuk dikendalikan. Robot online Pengikut ini menggunakan driver motor L298N. Pengemudi motor L298N memiliki dua Seri H-Bridge di dalamnya, sehingga bisa digunakan untuk berkendara dua motor DC.

dalam aplikasi robotika Pergerakan robot beroda umumnya menggunakan motor DC sebagai alat penggeraknya (Mega Nurmalasari, Dedi Triyanto, 2015).



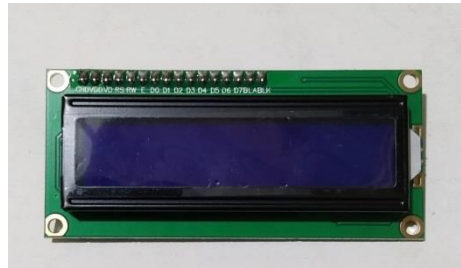
Gambar 2. 5 Motor Driver L298N
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

6. LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah salah satunya sejenis layar elektronik yang dibuat dengan teknologi Logika CMOS yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang menyala lingkungan untuk front-lit atau mengirimkan lampu latar. LCD berfungsi sebagai penampil data baik berupa karakter, huruf, angka atau bagan.

LCD merupakan lapisan campuran organik antara lapisan kaca bening dan elektroda indium oksida transparan dalam bentuk tampilan tujuh segmen dan lapisan elektroda kaca dibelakang. Ketika elektroda diaktifkan oleh medan listrik (tegangan), panjang molekul organik dan silinder menyesuaikan dengan elektroda dari segmen. Lapisan sandwich memiliki polarisator ringan polarizer cahaya vertikal dan horizontal depan di belakang yang diikuti oleh lapisan reflektor. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewatinya molekul yang diadaptasi

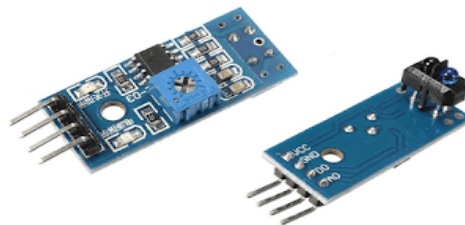
segmen yang diaktifkan tampak menjadi gelap dan membentuk data karakter yang akan ditampilkan.(Natsir et al., 2019)



Gambar 2. 6 LCD (*Liquid Crystal Display*)
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

7. Sensor infrared TCRT5000

Pada line sensor terdapat dua komponen, sebagai pemancar cahaya dan penerima pantulan cahaya. Sensor garis ini terdiri dari dua komponen yaitu LED dan Photodiode. Cara kerja LED (*Light Emitting Diode*) fungsinya adalah memancarkan cahaya ke garis hitam atau putih. Jika cahaya dipantulkan ke garis hitam, banyak cahaya akan diserap oleh garis hitam, dan jika dipantulkan ke area putih, cahaya akan banyak dipantulkan oleh area putih (Mega Nurmalasari, Dedi Triyanto, 2015).



Gambar 2. 7 Bentuk Fisik Sensor Infrared model TCRT5000
(Sumber : Tokopedia.com)

B. Kajian Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu bertujuan untuk mendapatkan bahan referensi serta bahan perbandingan dan acuan. Maka peneliti akan mencantumkan beberapa hasil penelitian terdahulu sebagai berikut :

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Hendriawan, 2010) dengan judul "Penyelesaian Jalur Terpendek dengan menggunakan Algoritma *Maze Mapping* Pada *Line Maze*". Pada penelitian ini menggunakan dua mode yaitu mode pencarian dan mode kembali. Dalam mode pencarian, robot berjalan dari posisi awal hingga selesai dengan aturan robot akan memprioritaskan belok kiri saat bertemu dengan persimpangan. Kode unik dihasilkan setiap kali robot menemukan persimpangan. Dalam mode kembali, robot telah berjalan dari awal sampai akhir dengan jalur terpendek. Jalur terpendek diperoleh dari kode-kode unik yang telah dikonversi. Berdasarkan program konversi eksperimental yang telah dilakukan, diperlukan formulasi yang handal untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Pada pengujian keseluruhan sistem didapatkan error sebesar 10% dari 10 kali percobaan berturut-turut

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Ari et al., 2014) dengan judul "Perancangan Robot *Wall Follower* Dengan Metode Proportional Integral Derivative (PID) Berbasis Mikrokontroler". Pada penelitian ini berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan kontroler PID robot *wall follower* mampu bernavigasi dengan mulus, responsif dan tanpa benturan. Penentuan hasil tuning parameter kontroler PID diperoleh dengan menggunakan

metode trial and error. Hasil tuning parameter kontroler PID yang dicapai dari penelitian tugas akhir ini didapatkan $K_p = 6$, $K_i = 1$ dan $K_d = 3$

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh (Metode et al., 2015) dengan judul Penerapan Metode Simple Maze Pada Robot Wall Follower Untuk Menyelesaikan Jalur Dalam Menelusuri Sebuah Labirin. Pada penelitian ini menggunakan 3 bagian pada robot terdiri dari input yaitu sensor, sensor yang digunakan adalah ultrasonik dan photodiode, pengolahan algoritma yaitu mikrokontroler ATMeiga32, serta output yaitu motor dc.

Prosedur penelitian dengan perancangan dan menguji metode Simple Maze pada Robot *Wall Follower*, sesuai atau tidak 3 bagian pada robot yang terdiri dari input yaitu sensor, yang digunakan adalah ultrasonik dan photodiode, pengolahan algoritma yaitu mikrokontroler ATMeiga32, serta output yaitu motor dc. Hasil penelitian Algoritma Labirin Sederhana dengan akurasi sensor ultrasonik sebesar 99,632% dan nilai error sebesar 1,34%, untuk pengukuran error sensor fotodioda sebesar 4,9%, dan untuk pengukuran nilai error motor PWM adalah 5,9%. Pekerjaan input, pemrosesan, dan output saling berhubungan sesuai dengan perintah dalam algoritma yang dibuat. Pada salah satu posisi Home and Finish, robot dengan metode Simple Maze membutuhkan waktu yang lebih singkat yaitu ± 2 detik untuk menyelesaikan tugasnya, sedangkan metode konvensional membutuhkan waktu ± 13 detik. Metode Labirin Sederhana dapat diterapkan pada Robot Pengikut Dinding.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu

Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Eelektronika Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Parepare dan waktu penelitian dilakukan selama 6 (enam) bulan dimulai pada bulan Februari sampai dengan bulan Juli 2023.

Tabel 3. 1 Jadwal pelaksanaan penelitian

NO	Uraian	Bulan 2023					
		Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Juli
1	Study Literatur						
2	Perancangan alat						
3	Pengadaan alat dan komponen						
4	Perakitan dan realisasi alat						
5	Penentuan parameter pengujian						
6	Pengujian untuk kerja						
7	Analisa hasil pengujian						

B. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan pengembangan yang menggunakan metode R&D(Research and Development).Penelitian ini pengembangan secara procedural bersifat deskriptif yang menunjukkan tahap yang harus diikuti untuk menghasilkan sebuah produk tertentu dan menguji keefektifitasan produk tersebut.

C. Alat Dan Bahan Penelitian

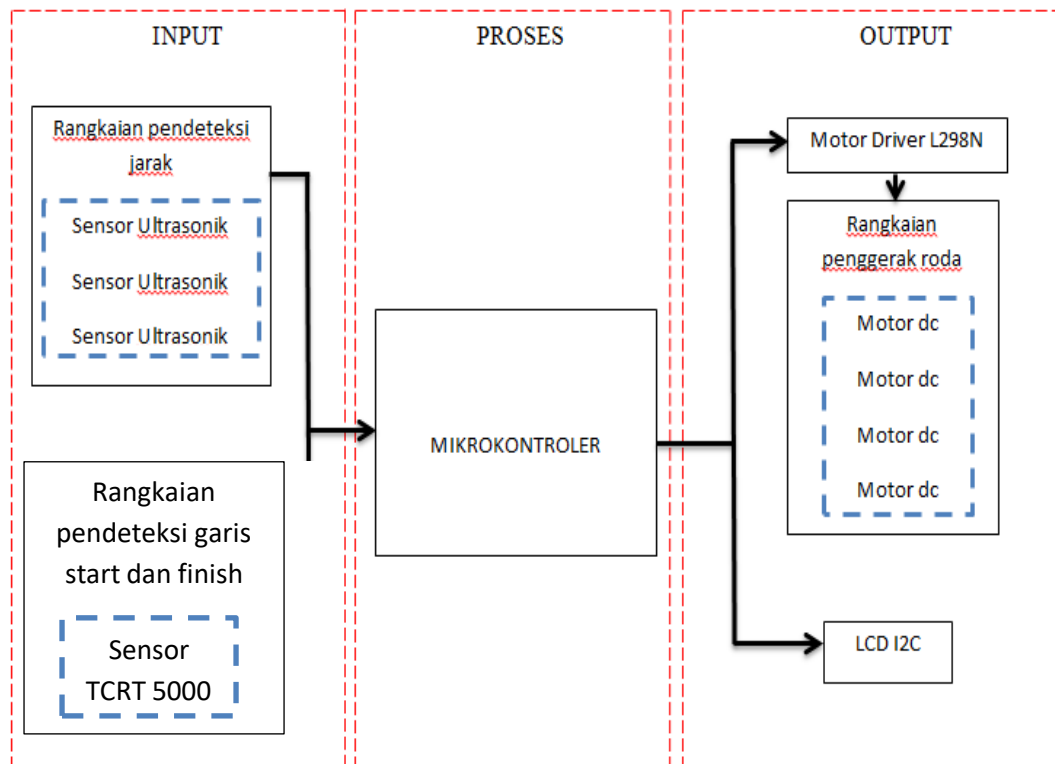
Dalam pelaksanaan perancangan alat pada penelitian yang akan dilakukan, dibutuhkan beberapa alat dan bahan komponen. Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 2 Alat dan Bahan

NO	Uraian	Qty
1	Arduino uno	1 buah
2	Motor driver L298N	1 buah
3	Motor Dc	2 buah
4	Sensor Ultrasonik HC-SR04	3 buah
5	Roda	2 buah
6	Baterai	3 buah
7	LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	1 buah
8	Push Button	2 buah

D. Rancangan penelitian

Pada bagian ini, akan dijelaskan secara umum bagaimana prinsip kerja dari implementasi algoritma pada robot *wall follower* berbasis mikrokontroler



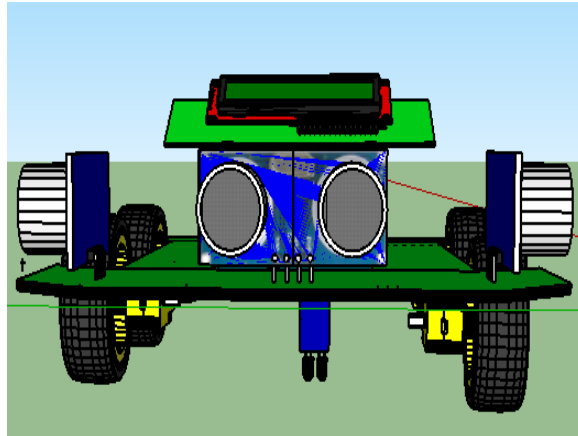
Gambar 3.1 Blok Diagram Rancangan Penelitian

Pada bagian ini akan dibahas secara umum bagaimana sistem kerja dari alat rancangan robot *wall follower* berbasis mikrokontroler

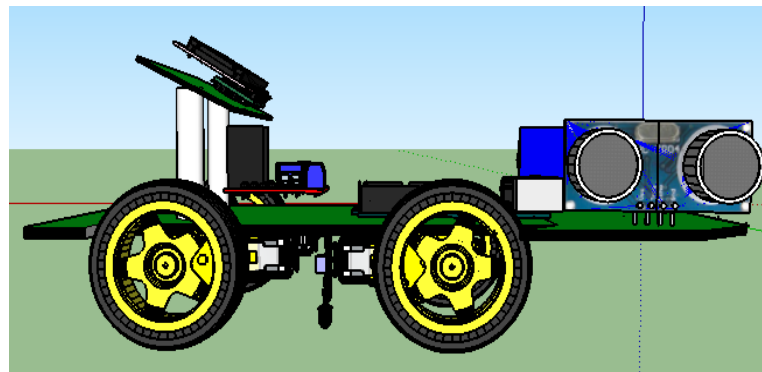
Dari diagram blok robot *wall follower* berbasis mikrokontroler, maka dapat dirincikan sebagai berikut:

1. Robot ini dirancang untuk mengikuti dinding secara otomatis dengan mengandalkan berbagai komponen seperti mikrokontroler, sensor jarak, motor driver, dan motor DC.

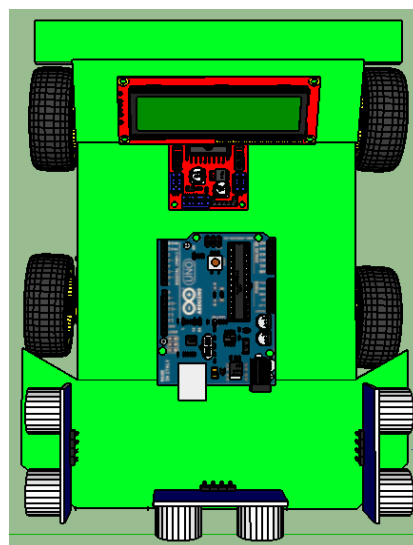
2. Proses ini dimulai dengan inisialisasi perangkat keras, diikuti oleh pembacaan sensor yang menentukan pergerakan robot berdasarkan jarak dari dinding.
3. Pengujian dan kalibrasi dilakukan untuk memastikan robot berfungsi dengan baik di berbagai kondisi, sementara fitur tambahan seperti komunikasi nirkabel dan penghindaran halangan dapat ditambahkan untuk meningkatkan kinerja robot. melalui optimasi, robot dapat diatur untuk bergerak dengan stabil dan efisien dalam mengikuti dinding



Gambar 3.2 Robot wall follower (Tampak Depan)



Gambar 3.3 Robot wall follower (Tampak Samping)



E. Gambar 3.4 Robot wall follower (Tampak Atas)

F. Teknik Pengambilan Data

Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, tahapan pertama dilakukan studi literatur, tahapan ini dilakukan untuk mempelajari konsep dasar dan rumus dalam pergerakan robot. Tahapan kedua dilakukan pengujian akurasi sensor, pengujian respon motor driver. Tahapan ketiga dari penelitian ini dilakukan, pengujian navigasi robot saat mengikuti dinding sebelah kiri dan kanan.

Melalui observasi langsung, pencatatan hasil pembacaan sensor, pengukuran waktu, dan analisis statistik, teknik ini memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana robot merespon lingkungan sekitarnya, serta bagaimana sistem kendali berfungsi dalam berbagai kondisi. Hasil dari pengambilan data ini memungkinkan untuk mengevaluasi akurasi, konsistensi, dan efektivitas sistem robotik yang diuji, serta mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan di masa depan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem mekanik robot wall follower pada dasarnya terdiri dari beberapa bagian yaitu perancangan perangkat keras (hardware), perancangan perangkat lunak (software) dan pengujian rancangan algoritma pada robot wall follower.

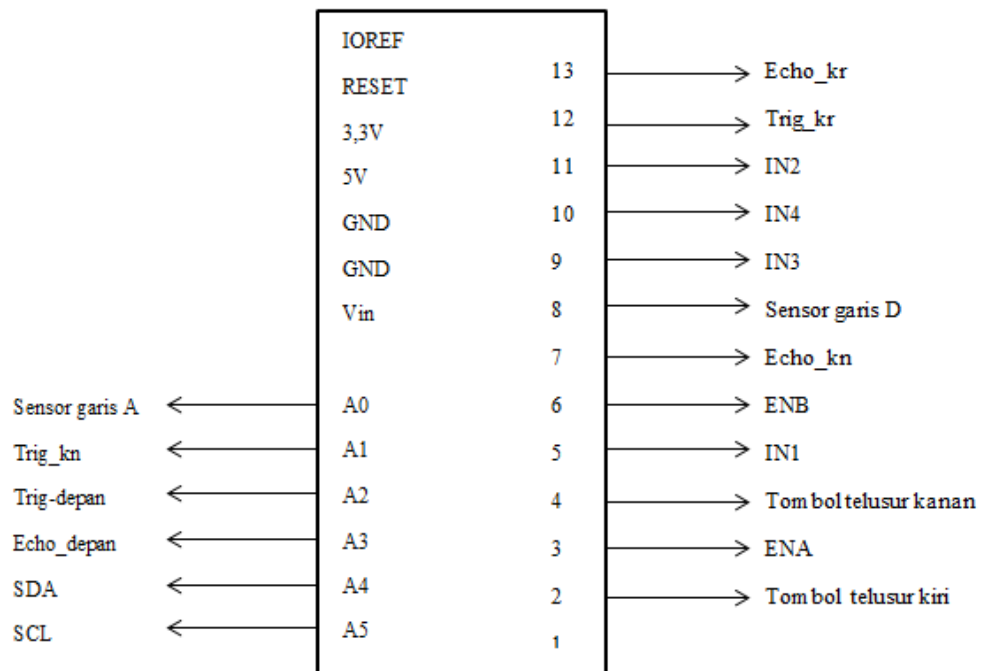
A. Perancangan perangkat keras

Pada dasarnya perangkat keras robot wall follower berbasis mikrokontroler terdapat beberapa komponen yang digunakan. Adapun penjelasan dari komponen-komponen yang digunakan pada perancangan ini adalah sebagai berikut.

1. Mikrokontroler

Mikrokontroller yang digunakan pada perncangan ini adalah atmega 328P-PU. Mikrokontroler ATmega 328P memiliki 23 pin yang telah terintegrasi dengan Board Arduino Uno R3. Mikrokontroler ini berfungsi sebagai otak pengontrol dari suatu system atau sebagai pengendali dari suatu komponen elektronika.

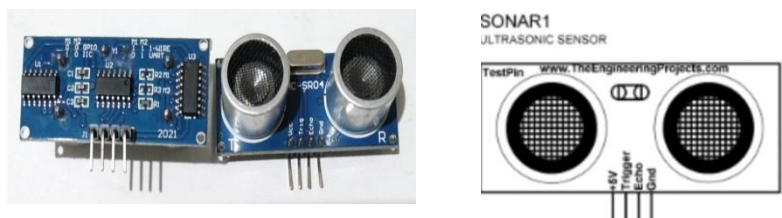
Pada ic atmega 328P-PU terdapat beberapa pin, 14 pin digital dan 6 pin analog. Ada beberapa pin yang digunakan pada perancangan ini yaitu 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13 A0,A1,A2,A3,A4,A5, Pin tersebut dapat dilihat pada gambar rangkaian dibawah ini



Gambar 4. 1 Skematik Arduino Uno

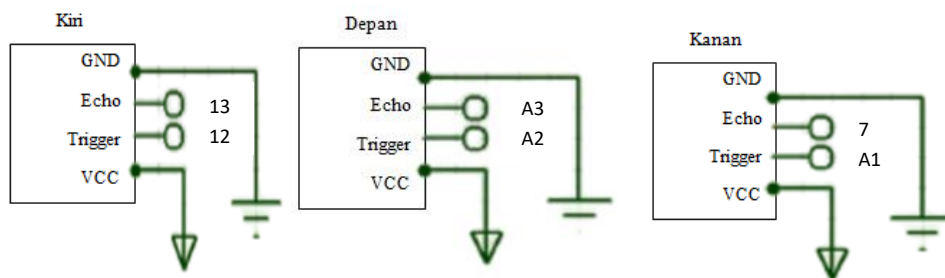
2. Sensor Ultrasonik

Sensor yang digunakan pada perancangan ini adalah jenis sensor ultrasonik HC-SR04 yang berfungsi untuk mendeteksi objek atau penghalang yang ada didepannya dengan jarak tertentu. Pada sensor ini terdapat 4 (empat) pin yang terdiri dari pin Vcc, pin GND, pin Trigger, dan pin Echo. Bentuk fisik dari sensor ultrasonik dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 2 Sensor Ultrasonik HC-SR04

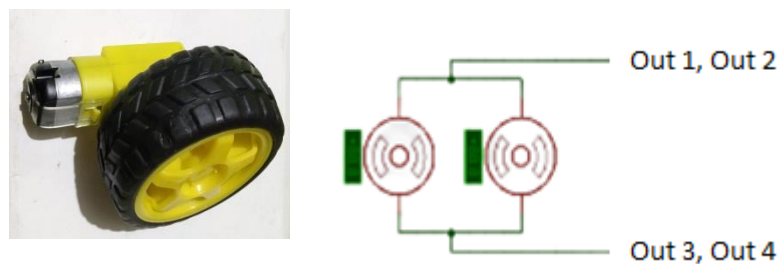
Pada perancangan ini digunakan 3 (tiga) buah sensor yang dipasang pada sisi kiri, kanan dan depan robot. Pin tersebut dihubungkan ke board arduino uno pada gambar rangkaian dibawah ini.



Gambar 4. 3 Rangkaian Sensor Ultrasonik

3. Motor DC

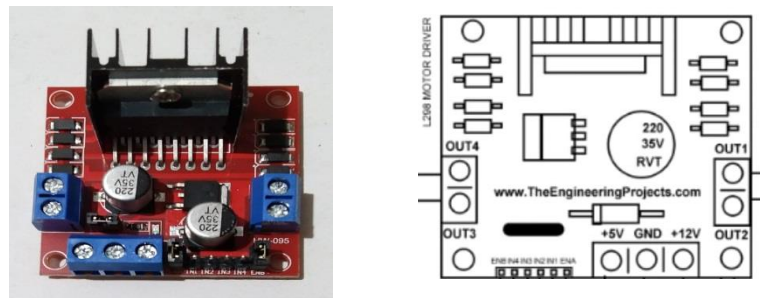
Adapun aktuator yang digunakan adalah motor DC yang berfungsi untuk menggerakkan roda yang dikontrol oleh mikrokontroler. kemudian dihubungkan ke output motor driver, dapat dilihat seperti pada gambar rangkaian dibawah ini.



Gambar 4. 4 rangkaian motor dc yang terhubung ke L298N

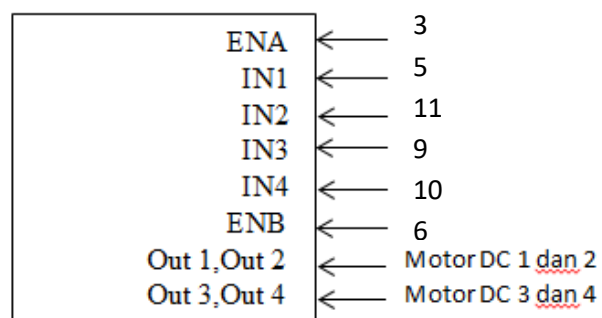
4. Motor Driver L298N

Motor driver yang digunakan adalah jenis motor driver L298N yang berfungsi untuk mengatur kecepatan dan arah putaran motor DC. Bentuk fisik dari motor driver L298N dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 5 Motor Driver L298N

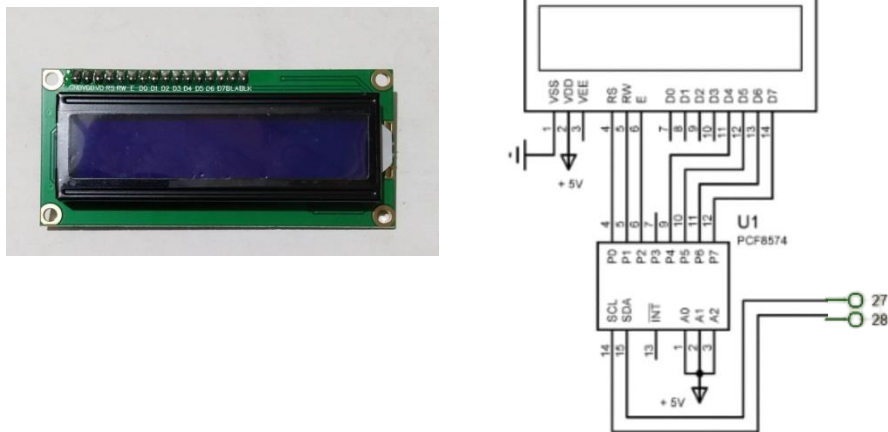
Motor driver ini memiliki 6 (enam) buah pin yang dihubungkan ke mikrokontroler arduino yaitu pin ENA, ENB, IN1, IN2, IN3, IN4 seperti pada gambar rangkaian yang tertera dibawah ini:



Gambar 4. 6 Rangkaian Motor Driver

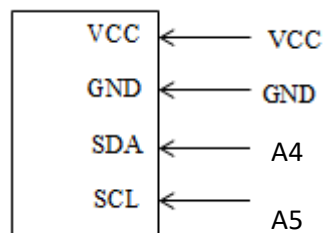
5. LCD (Liquid Crystal Display)

LCD yang digunakan adalah LCD yang dilengkapi dengan modul I2C yang berfungsi untuk menampilkan data. Bentuk dari LCD dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 7 LCD (Liquid Crystal Display)

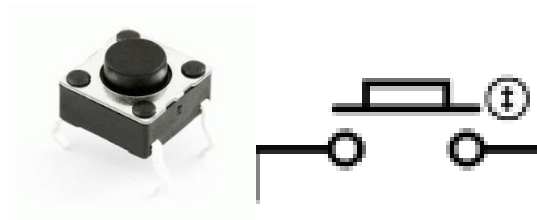
Pada modul I2C terdapat 4 (empat) buah pin yaitu Vcc, Gnd, SCL, dan SDA yang dihungkan ke Mikrokontroler seperti pada gambar rangkaian berikut.



Gambar 4. 8 Rangkaian LCD I2C

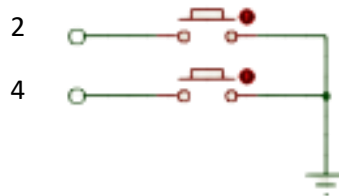
6. Push Button

Pada perancangan ini menggunakan Push button yang digunakan untuk memulai dan mengatur arah gerakan robot. Bentuk fisik push button dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 9 push button

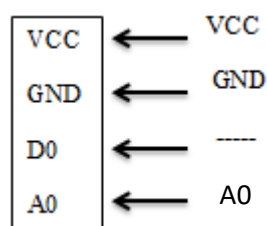
Ada 2 (dua) buah Push button yang digunakan yaitu, Push button 1 berfungsi untuk mengikuti dinding kiri, push button 2 berfungsi untuk mengikuti dinding kanan



Gambar 4. 10 Rangkaian push button

7. Sensor TCRT 5000

Sensor yang digunakan untuk mendeteksi garis hitam yaitu sensor TCRT 5000. Sensor garis ini terdiri dari dua komponen yaitu LED dan Photodiode. Cara kerja LED (*Light Emitting Diode*) fungsinya adalah memancarkan cahaya ke garis hitam atau putih. Jika cahaya dipantulkan ke garis hitam, banyak cahaya akan diserap oleh garis hitam, dan jika dipantulkan ke area putih, cahaya akan banyak dipantulkan oleh area putih.



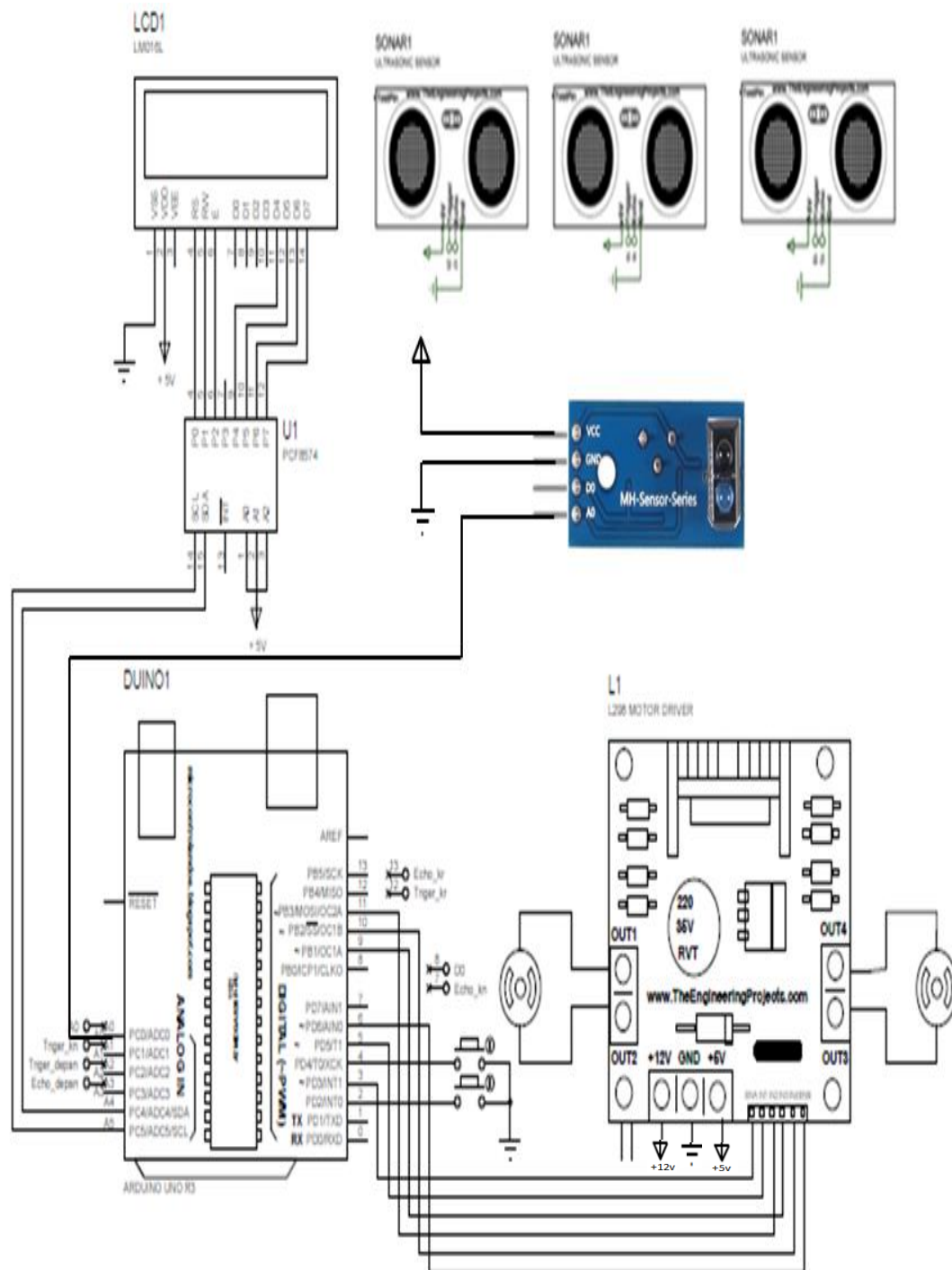
Gambar 4. 11 Rangkaian Sensor TCRT 5000

Perancangan susunan pin-pin yang terhubung ke arduino robot wall follower dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

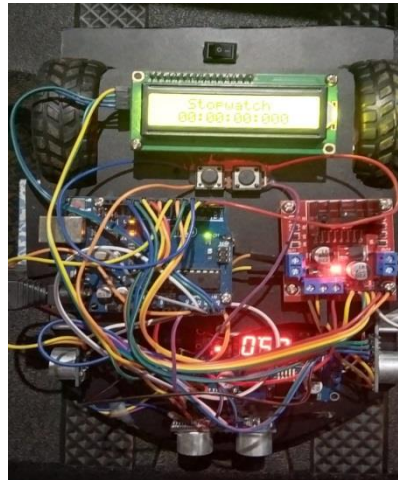
Tabel 4.1 Susunan pin-pin yang terhubung ke arduino

IC TAMEGA 328P-PU	Ultrasonik HC- SR04	Motor Driver	LCD I2C	Push Button	Tcrt-5000
0	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	Telusurkiri	-
3	-	ENA	-	-	-
4	-	-	-	Telusurkanan	-
5	-	IN1	-	-	-
6	-	ENB	-	-	-
7	Echo – Kanan	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	IN3	-	-	-
10	-	IN4	-	-	-
11	-	IN2	-	-	-
12	Trigger – kiri	-	-	-	-
13	Echo – Kiri	-	-	-	-
A0	-	-	-	-	A0
A1	Trigger – kanan	-	-	-	-
A2	Trigger – depan	-	-	-	-
A3	Echo – depan	-	-	-	-
A4	-	-	SDA	-	-
A5	-	-	SCL	-	-

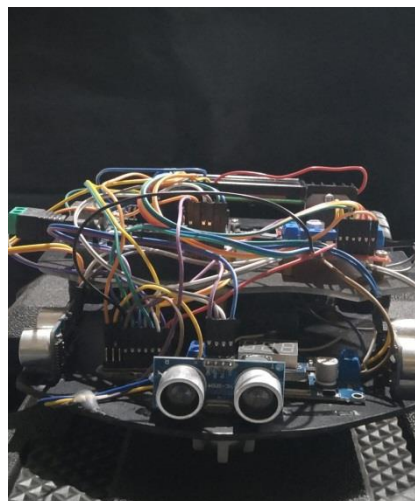
Perancangan robot wall follower secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 12 Perancangan robot wall follower



Gambar 4. 13 Tampak atas rancangan mekanik



Gambar 4. 14 Tampak depan rancangan Mekanik



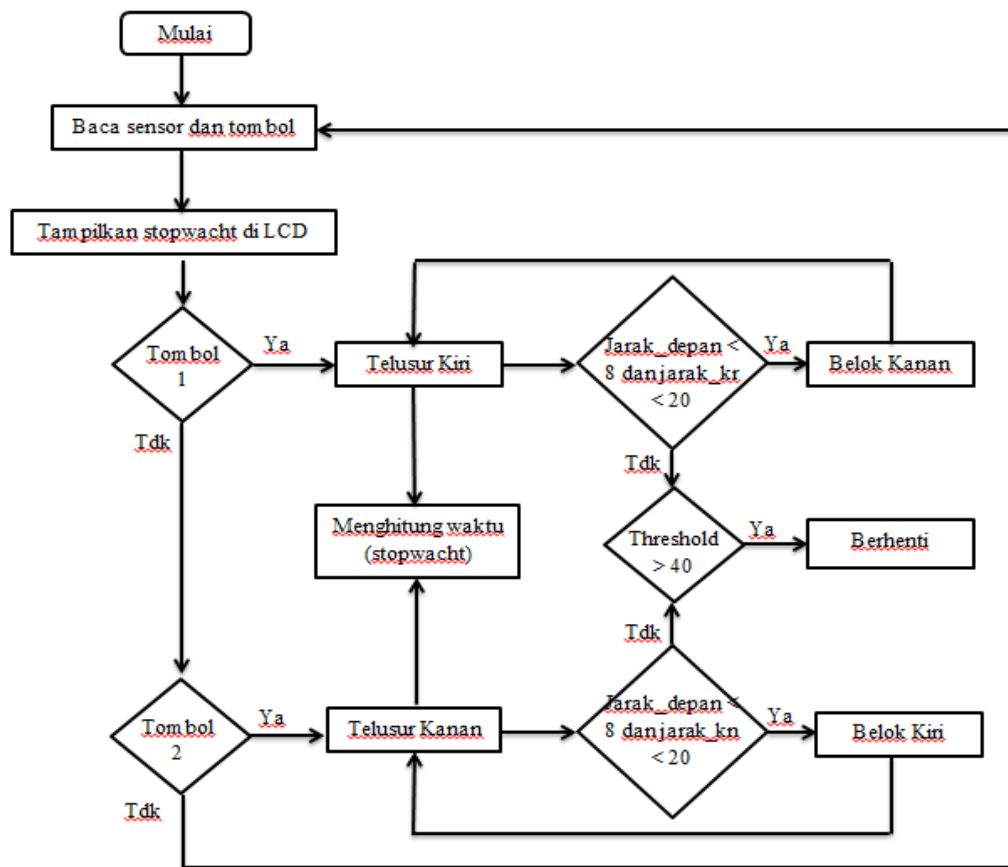
Gambar 4. 15 Tampak samping rancangan Mekanik

B. Perancangan perangkat lunak

Dalam tugas akhir ini, digunakan aplikasi Arduino IDE untuk mengontrol bagian perangkat lunak Arduino IDE memainkan peran penting sebagai alat yang memungkinkan komunikasi antara perangkat lunak dan perangkat keras. Melalui Arduino IDE, pengguna dapat mengatur cara kerja perangkat keras seperti sensor, motor, dan komponen elektronik lainnya dengan menulis kode program yang menentukan bagaimana perangkat tersebut merespons berbagai input dan menghasilkan output yang diinginkan.

a. Flowchart

Pembuatan diagram alir (flowchart) diperlukan untuk mempermudah pemahaman dan pengerjaan program, sehingga susunan program menjadi terarah dan tidak berantakan. Flowchart menggunakan berbagai simbol untuk menggambarkan setiap langkah dalam proses, yang biasanya dihubungkan dengan garis atau panah untuk menunjukkan urutan langkah serta aliran informasi atau kontrol dalam proses. Diagram alir prinsip kerja sistem dapat dilihat pada gambar berikut ini:"



Gambar 4. 16 Flowchart

Adapun prinsip kerja pada flowchart di atas adalah pada saat robot start, akan muncul tampilan pada LCD yaitu Gunawan/219180012 selama 1 detik dan setelah itu menampilkan stopwatch penghitung waktu. Pada pilihan cek tombol 1 atau 2 jika ditekan tombol 1 maka akan menjalankan telusur kiri lalu stopwatch mulai menghitung waktu yg ditempuh selama mengikuti dinding sebelah kiri sampai sensor tcr1 5000 mendeteksi garis hitam lebih besar (> 40) ambang batas maka robot akan berhenti dan stopwatch akan menampilkan waktu selama mengikuti dinding.

Jika ditekan tombol 2 maka akan menjalankan Telusur kanan lalu stopwatch mulai menghitung waktu yang ditempuh selama mengikuti dinding sebelah kanan sampai sensor tcr1 5000 mendeteksi garis hitam lebih besar (> 40) ambang batas maka robot akan berhenti dan stopwatch akan menampilkan waktu selama mengikuti dinding.

b. Uraian program

Alur logika program sangat penting untuk menjelaskan bagaimana program bekerja secara keseluruhan, mengikuti langkah-langkah yang digambarkan dalam flowchart.

- Deklarasi library yang akan dipakai

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
```

- Deklarasi pin dan variable pada program

```
unsigned char tombol1=0;
unsigned char tombol2=0;
unsigned char tombol3=0;

const int button1=2;
const int button2=4;

int sensorD = 8;
int sensorA = A0;
int hitam = 1;
int putih = 0;
```

```

int IN1 = 5;

int IN2 = 11;

int IN3 = 9;

int IN4 = 10;

int ENB = 6;

int ENA = 3;

const int trig_depan = A2;
const int echo_depan = A3;
const int trig_kn = A1;
const int echo_kn = 7;
const int trig_kr = 12;
const int echo_kr = 13;


int  hh=0, mm=0, ss=0, ms=0;
bool timerStart = false;
unsigned long lastMillis = 0;


long durasi_depan, durasi_kr, jarak_depan, jarak_kr,
durasi_kn, jarak_kn;

int setPoint, Nilai, setPointKiKa, setPoint_depan;

double LastError = 0;

double SumError = 0;

const double SumErrorMax = 1000; // Batas maksimal
untuk SumError

const double SumErrorMin = -1000; // Batas minimal
untuk SumError

double filterJarak(double jarakBaru, double
jarakLama){

}

```


Terdapat beberapa variabel dan konstanta untuk mengatur sensor,tombol, motor dan variabel untuk pin-pin sensor yang terhubung ke arduino.

- Menu setup

```
void setup {
    lcd.init ;
    lcd.backlight;

    pinMode (2, INPUT_PULLUP) ;
    pinMode (4, INPUT_PULLUP) ;
    pinMode (7, INPUT_PULLUP) ;
    Serial.begin(9600);
    lcd.clear;
    lcd.setCursor (0,0);
    cd.print("  GUNAWAN  ");
    lcd.setCursor (0,1);
    lcd.print("  219180012  ");
    delay(1000);
    lcd.clear;

    noInterrupts;          // disable all interrupts

    TCCR1A = 0;             // set entire TCCR1A
register to 0 //set timer1 interrupt at 1kHz // 1 ms

    TCCR1B = 0;             // same for TCCR1B

    TCNT1 = 0;              // set timer count for 1khz
increments

    OCR1A = 1999;           // = (16*10^6) / (1000*8) - 1

    //had to use 16 bit timer1 for this bc 1999>255, but
could switch to timers 0 or 2 with larger prescaler

    // turn on CTC mode

    TCCR1B |= (1 << WGM12); // Set CS11 bit for 8
prescaler
```

```

    TCCR1B |= (1 << CS11); // enable timer compare
    interrupt

    TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);

    interrupts;           // enable

    pinMode (IN1, OUTPUT);
    pinMode (IN2, OUTPUT);
    pinMode (ENA, OUTPUT);
    pinMode (IN3, OUTPUT);
    pinMode (IN4, OUTPUT);
    pinMode (ENB, OUTPUT);
    pinMode(sensorD, INPUT);
    int value=digitalRead(sensorD);
    pinMode(trig_depan, OUTPUT);
    pinMode(echo_depan, INPUT);
    pinMode(trig_kr, OUTPUT);
    pinMode(echo_kr, INPUT);
    pinMode(trig_kn, OUTPUT);
    pinMode(echo_kn, INPUT);    }

```

Pada menu setup yang hanya dijalankan 1 kali ketika arduino ide dinyalakan. Program ini menginisialisasi LCD, mengatur beberapa pin untuk input/output, menampilkan pesan di LCD, dan mengonfigurasi Timer1 untuk menghasilkan interrupt dengan frekuensi 1 kHz. Pin-pinnya diatur untuk mengontrol motor dan membaca sensor, termasuk sensor ultrasonik untuk deteksi jarak.

- Fungsi loop

```

void loop{

    int sensor_value=analogRead(sensorA);

```

```

    baca_button;

    read_sensor;

    sensor_value = analogRead(sensorA);

    Serial.println(sensor_value);

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("    Stopwatch    ");

    lcd.setCursor(2, 1);

    lcd.print((hh / 10) % 10);

    lcd.print(hh % 10);

    lcd.print(":");

    lcd.print((mm / 10) % 10);

    lcd.print(mm % 10);

    lcd.print(":");

    lcd.print((ss / 10) % 10);

    lcd.print(ss % 10);

    lcd.print(":");

    lcd.print((ms / 100) % 10);

    lcd.print((ms / 10) % 10);

    lcd.print(ms % 10);


    if (!tombol1) {
        timerStart = true;

        TelusurKiri;
    } else if (!tombol2) {
        timerStart = true;

        TelusurKanan;
    }

    delay(100);
}

```

Pada menu looping atau perulangan program di atas merupakan bagian dari sistem kendali robot wall follower yang menggunakan sensor dan tombol untuk mengarahkan navigasi robot, dengan fitur tambahan berupa stopwatch yang ditampilkan pada layar LCD. Berdasarkan status tombol, robot dapat mengikuti dinding di sebelah kiri atau kanan

C. Pengujian robot wall follower

Ada 4(empat) tahap pengujian pada penelitian sistem kendali robot wall follower yaitu yang pertama pengujian sensor ultrasonik dan arah putar motor, kedua pengujian sistem kendali wall follower dengan mengikuti dinding sebelah kiri, ketiga pengujian sistem wall follower dengan mengikuti dinding sebelah kanan dan yang keempat pengujian pengaruh perubahan nilai PWM terhadap kestabilan robot wall follower dalam mengikuti dinding.

1. pengujian sensor Ultrasonik

Tabel 4.2 Hasil pengujian sensor ultrasonik

Pengujian ke -	Jarak actual (cm)	Pembacaan sensor			Error(%)		
		Kiri (cm)	Depan (cm)	Kanan (cm)	Kiri	Depan	Kanan
1	0	1	2	2	0	0	0
2	20	19	19	20	0,05	0,05	0
3	30	28	28	29	0,06	0,06	0,03
4	40	37	38	38	0,07	0,05	0,05
5	50	47	48	47	0,06	0,04	0,06
6	60	56	57	57	0,06	0,05	0,05
7	70	66	66	67	0,05	0,05	0,04
8	80	77	76	74	0,03	0,05	0,07

9	90	85	85	86	0,05	0,05	0,04
10	100	94	93	95	0,06	0,07	0,05

Pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik secara konsisten memberikan hasil pembacaan yang mendekati jarak aktual pada berbagai kondisi. Meski terdapat beberapa variasi kecil pada hasil pembacaan di sisi kiri, depan, dan kanan, secara keseluruhan error persentase tetap rendah.

Pada jarak dekat (10-30 cm), sensor menunjukkan ketepatan yang sangat baik dengan error minimal, mengindikasikan kemampuan sensor untuk mendeteksi objek dengan akurasi tinggi dalam jarak pendek. Pada jarak yang lebih jauh (40-100 cm), meskipun error sedikit meningkat, sensor tetap mempertahankan performa yang dapat diandalkan. Konsistensi dalam pembacaan sensor pada ketiga sisi (kiri, depan, kanan) menunjukkan bahwa sensor ini tidak hanya akurat tetapi juga stabil dalam berbagai kondisi jarak. Tidak ada fluktuasi besar dalam hasil pembacaan, yang penting untuk aplikasi seperti robot wall follower, di mana kestabilan dan prediktabilitas sangat penting. Dengan error yang relatif rendah pada semua jarak uji, sensor ini sangat cocok untuk digunakan dalam robotik, khususnya dalam navigasi berbasis jarak seperti pada robot wall follower. Hasil pengujian mengindikasikan bahwa sensor ini dapat secara andal mempertahankan jarak yang tepat dari dinding, yang merupakan kriteria penting dalam aplikasi tersebut.

Secara keseluruhan, sensor ultrasonik menunjukkan kehandalan yang tinggi dalam pengukuran jarak dengan tingkat error yang rendah dan konsisten. Hasil ini

memberikan kepercayaan bahwa sensor dapat digunakan secara efektif dalam aplikasi yang memerlukan pengukuran jarak presisi, termasuk dalam proyek robot wall follower penelitian ini. Adapun Tabel pengujian putaran motor dc pada driver l298N.

Tabel 4.3 Hasil pengujian putaran motor dc pada driver l298N.

Motor driver L298N				Aksi robot
ENA		ENB		
IN1	IN2	IN3	IN4	
HIGH	LOW	HIGH	LOW	Maju
HIGH	LOW	LOW	HIGH	Belokkiri
LOW	HIGH	HIGH	LOW	Belokkanan
LOW	LOW	LOW	LOW	Berhenti

Tabel di atas menunjukkan bagaimana perubahan pada sinyal kontrol motor driver L298N dapat mempengaruhi arah dan gerakan robot. Dengan mengatur kombinasi pin ENA, ENB, dan input (IN1, IN2, IN3, IN4), kita dapat mengontrol apakah robot akan bergerak maju, belok ke kiri, belok ke kanan, atau berhenti. Robot dapat diarahkan untuk bergerak maju dengan mengaktifkan kedua motor. Robot dapat berbelok ke kiri dengan mengaktifkan hanya motor kanan. Robot dapat berbelok ke kanan dengan mengaktifkan hanya motor kiri. Robot dapat berhenti dengan menonaktifkan kedua motor.

2. Tabel pengujian sistem mengikuti dinding sebelah kiri

Tabel 4.4 Hasil pengujian pengujian sistem mengikuti dinding sebelah kiri

Pengujian Ke -	Jumlah tabrakan	Waktu yang ditempuh (detik)	Hasil pengujian mengikuti dinding
1	3	33,78	Kesulitan di area yg sempit

2	2	33,78	Kesulitan di area yg sempit
3	0	32,24	Tidak ada tabrakan,
4	2	38,40	Kesulitan di area yg sempit dan sedikit lambat
5	1	33,58	Tabrakan di tikungan terakhir
6	1	34,23	Performa baik dengan sedikit tabrakan
7	1	38,01	Berhenti di tengah lintasan dan lambat
8	2	34,27	Kesulitan di area yg sempit
9	1	36,92	Tabrakan di tikungan terakhir
10	0	32,57	Tidak ada tabrakan,waktu tercepat



Gambar 4. 17 Tampilan LCD setelah mengikuti dinding sebelah kiri

Pengujian ke-3 dan ke-10 mencatat waktu tercepat (32,24 detik dan 32,57 detik) tanpa mengalami tabrakan, menunjukkan bahwa robot bekerja lebih efisien ketika tidak ada gangguan dari tabrakan. Mayoritas pengujian yang menunjukkan waktu lebih lambat dan jumlah tabrakan yang lebih tinggi terjadi di area sempit, menunjukkan bahwa robot mengalami kesulitan dalam menavigasi ruang yang lebih terbatas. Pengujian ke-4 dan ke-7 menunjukkan waktu terlama, masing-masing 38,40 detik dan 38,01 detik, dengan kesulitan di area sempit dan

perlambatan di tengah lintasan. Sebagian besar tabrakan terjadi di area sempit dan tikungan terakhir, menunjukkan bahwa robot mengalami kesulitan navigasi di area tersebut. Secara keseluruhan, robot menunjukkan performa yang lebih baik di lintasan yang lebih luas dengan sedikit hambatan, sedangkan area sempit dan tikungan menjadi tantangan yang menyebabkan penurunan performa.

3. Tabel pengujian sistem mengikuti dinding sebelah kanan

Tabel 4.5 Hasil pengujian sistem mengikuti dinding sebelah kanan

Pengujian Ke -	Jumlah tabrakan	Waktu yang ditempuh (detik)	Hasil pengujian mengikuti dinding
1	1	34,69	Kesulitan di area yg sempit
2	2	35,26	Kesulitan di area yg sempit
3	0	38,48	Berhenti di tengah lintasan dan lanjut
4	2	35,57	Sedikit lambat di tengah lintasan
5	1	38,34	Kesulitan di area yg sempit dan lambat
6	1	38,81	Sedikit lambat di tikungan terakhir
7	2	44,32	Sedikit lambat di awal dan tabrakan di area yg sempit
8	3	40,68	Sedikit lambat di awal
9	1	47,28	Sedikit lambat di awal dan berhenti di tengah lintasan baru lanjut
10	1	39,10	Berhenti di tikungan kedua dan sedikit lambat



Gambar 4. 18 Tampilan LCD setelah mengikuti dinding sebelah kanan

Hasil pengujian pada tabel di atas menunjukkan bahwa robot sering menghadapi kesulitan di area yang sempit dan pada tikungan, yang mengakibatkan tabrakan dan memperlambat waktu tempuh. Meskipun ada beberapa pengujian di mana robot tidak mengalami tabrakan, waktu tempuh tetap lebih lama, menunjukkan bahwa robot mengalami jeda atau kesulitan dalam navigasi. Pengujian 1 dan 2, yang menunjukkan waktu tempuh tercepat, tetap mengalami tabrakan di area sempit. Pada pengujian 7, 8, dan 9, waktu tempuh meningkat signifikan, menunjukkan bahwa tabrakan dan kesulitan di awal lintasan memberikan dampak besar pada keseluruhan performa.

4. Tabel pengujian pengaruh perubahan nilai PWM terhadap kestabilan pergerakan robot wal follower dalam mengikuti dinding

Tabel 4.6 Hasil pengujian pengaruh perubahan nilai PWM terhadap kestabilan pergerakan robot wal follower dalam mengikuti dinding

No	PWM Kiri	PWM Kanan	Status pergerakan robot	Kestabilan robot
1	50	50	Robot berhenti	Tidak stabil
2	70	70	Bergerak lambat, terkadang berhenti	Tidak stabil
3	90	90	Bergerak sedikit mengikuti dinding	Cukup stabil
4	100	100	Mulai mengikuti dinding	Stabil
5	140	140	Robot menabrak dinding	Kurang stabil
6	160	160	Mulai eror	Kurang stabil

7	180	180	Bergerak cepat	Tidak stabil
8	195	195	Bergerak cepat,sulit dikontrol	Tidak stabil
9	200	200	Bergerak Zig-zag,sering keluar jalur	Tidak stabil
10	255	255	Tidak dapat dikontrol	Sangat tidak stabil

Berdasarkan hasil pengujian, terdapat hubungan langsung antara nilai PWM dan kestabilan pergerakan robot Wall Follower dalam mengikuti dinding. Pada rentang PWM 50-90, robot mengalami kesulitan untuk bergerak dengan stabil. Saat PWM 50, robot tidak dapat bergerak sama sekali karena torsi yang dihasilkan terlalu kecil. Pada PWM 70, robot mulai bergerak tetapi dengan kecepatan yang sangat lambat dan terkadang berhenti. Pada PWM 90, robot mulai menunjukkan kemampuan untuk mengikuti dinding, tetapi masih kurang stabil karena sistem kontrol belum optimal. Hal ini menunjukkan bahwa nilai PWM yang terlalu rendah menyebabkan torsi motor tidak cukup kuat untuk menghasilkan pergerakan yang lancar dan stabil.

Pada rentang PWM 100-140, robot mulai menunjukkan peningkatan kestabilan. Saat PWM 100, robot mulai mengikuti dinding dengan cukup baik dan dapat dikatakan sebagai rentang nilai yang optimal. Namun, ketika nilai PWM meningkat ke 140, robot mulai mengalami ketidakstabilan, seperti menabrak dinding. Ini menandakan bahwa kecepatan robot mulai melebihi kemampuan sistem kontrol untuk mengoreksi jalur secara akurat. Oleh karena itu, rentang PWM 100-120 dapat dianggap sebagai kondisi paling optimal untuk kestabilan pergerakan robot.

Saat nilai PWM meningkat lebih jauh ke 160-200, robot semakin sulit dikendalikan. Pada PWM 160, robot mulai mengalami error dan keluar dari jalur. Pada PWM 180, pergerakan semakin cepat sehingga sulit untuk dikontrol dengan baik. Saat PWM 195 dan 200, robot sering bergerak zig-zag dan kehilangan kestabilan karena sistem kontrol tidak mampu mengimbangi kecepatan yang tinggi. Pada kondisi ekstrem dengan PWM 255, robot benar-benar tidak dapat dikendalikan, bergerak terlalu cepat, dan kehilangan arah sepenuhnya.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Sensor ultrasonik yang digunakan pada robot wall follower menunjukkan performa yang baik dalam mendeteksi jarak dengan error yang rendah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ini mampu memberikan pembacaan yang konsisten dan akurat, terutama pada jarak pendek (10-30 cm). Meskipun terjadi peningkatan error pada jarak yang lebih jauh (40-100 cm), sensor tetap dapat diandalkan untuk navigasi berbasis jarak. Konsistensi dalam pembacaan di ketiga sisi (kiri, depan, kanan) menunjukkan bahwa sensor ini mampu bekerja dengan baik dalam berbagai kondisi, menjadikannya pilihan yang tepat untuk sistem kendali robot wall follower.
2. Pengujian menunjukkan bahwa motor driver L298N dapat secara efektif mengontrol arah dan gerakan robot dengan mengatur kombinasi sinyal pada pin ENA, ENB, IN1, IN2, IN3, dan IN4. Robot dapat bergerak maju, belok ke kiri, belok ke kanan, atau berhenti berdasarkan konfigurasi sinyal yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa driver motor ini memiliki fleksibilitas dan keandalan yang dibutuhkan untuk mengendalikan gerakan robot wall follower.
3. Robot menunjukkan performa yang baik dalam mengikuti dinding sebelah kiri, terutama di lintasan yang lebih luas dan tanpa hambatan. Pada pengujian

yang mencatat waktu tercepat, robot tidak mengalami tabrakan, menunjukkan bahwa kinerja robot optimal saat tidak ada gangguan. Namun, pada area sempit dan tikungan terakhir, robot sering mengalami kesulitan, yang menyebabkan tabrakan dan penurunan performa.

4. Pada pengujian mengikuti dinding sebelah kanan, robot menghadapi lebih banyak tantangan dibandingkan dengan pengujian sebelah kiri. Waktu tempuh rata-rata lebih lama, dengan robot sering mengalami kesulitan di area sempit dan tikungan, yang menyebabkan tabrakan dan jeda dalam navigasi. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma atau mekanisme kendali yang digunakan lebih efektif dalam navigasi sebelah kiri dibandingkan sebelah kanan.
5. Dapat disimpulkan bahwa nilai PWM memiliki dampak signifikan terhadap kestabilan robot Wall Follower. Nilai PWM optimal berada di kisaran 100-120, di mana robot dapat bergerak dengan stabil tanpa kehilangan kontrol. Nilai PWM yang terlalu rendah (<90) menyebabkan robot sulit bergerak atau bahkan berhenti, sedangkan nilai PWM yang terlalu tinggi (>140) menyebabkan robot sulit dikendalikan, sering menabrak dinding, dan pada akhirnya keluar dari jalur.

B. SARAN

1. Tambahkan sensor lain, seperti inframerah atau lidar, untuk meningkatkan akurasi dan memperkaya data lingkungan, sehingga robot dapat menavigasi dengan lebih presisi.
2. Uji robot pada berbagai kecepatan untuk menemukan kecepatan optimal yang menjaga akurasi dan kinerja navigasi.

3. Lakukan pengujian di lintasan dan kondisi lingkungan yang bervariasi untuk menguji fleksibilitas dan ketahanan robot.
4. teliti cara meningkatkan efisiensi penggunaan daya, seperti melalui pengaturan penggunaan motor dan sensor, atau menggunakan baterai yang lebih efisien.
5. penyesuaian penempatan sensor ultrasonik atau inframerah juga perlu diperhatikan. Sensor yang terlalu dekat dengan motor atau bagian mekanis lain dapat mengalami gangguan akibat getaran. Oleh karena itu, sebaiknya sensor ditempatkan pada posisi yang lebih optimal agar dapat membaca lingkungan dengan lebih akurat
6. mengoptimalkan algoritma kontrol kecepatan, misalnya dengan menerapkan kontrol adaptif berbasis kondisi lingkungan. Dengan algoritma ini, robot dapat menyesuaikan kecepatan secara dinamis berdasarkan jarak ke dinding dan tingkat kestabilan pergerakan, sehingga tidak hanya mengandalkan nilai PWM tetap.

DAFTAR PUSTAKA

- Ari, A., Laksono, H. D., & Erlina, T. (2014). *Perancangan Robot Wall Follower Dengan Metode Proportional Integral Derivative (PID) Berbasis Mikrokontroler*.
- Doni, R., Fahlevi, M. R., & Syahrin, E. (2020). Perancangan Robot Maze Solving Berbasis Arduino. *J-SAKTI (Jurnal Sains Komputer ...*, 4(September), 507–515.
- Krisnayoga, A. S., Divayana, Y., & Rahardjo, P. (2019). Algoritma Backtracking Pada Perjalanan Pulang Robot Pemadam Api. *Jurnal Spektrum*, 6(4), 87–95.
- Maryani, T. (2013). *Analisis Perbandingan Algoritma Pledge Dengan Wall Follower*.
- Metode, P., Maze, S., Robot, P., Follower, W., Menyelesaikan, U., Dalam, J., & Sebuah, M. (2015). Penerapan Metode Simple Maze Pada Robot Wall Follower Untuk Menyelesaikan Jalur Dalam Menelusuri Sebuah Labirin. *Edu ElektriKa Journal*, 4(2), 35–43.
- Natsir, M., Rendra, D. B., & Anggara, A. D. Y. (2019). Implementasi IOT Untuk Sistem Kendali AC Otomatis Pada Ruang Kelas di Universitas Serang Raya. *Jurnal PROSISKO (Pengembangan Riset Dan Observasi Rekayasa Sistem Komputer)*, 6(1), 69–72.
- Nurmalasari, M. ., Triyanto, D. ., Brianorman, Y. (2015). Implementasi Algoritma Maze Solving Pada Robot Line Follower. *Jurnal Coding Sistem Komputer Untan*. Volume 03, No 2 hal 123-133
- Sampurno, B., Abdurrahman, A., & Had, H. S. (2016). *Sistem Kendali PID pada Pengendalian Suhu untuk Kestabilan Proses Pemanasan Minuman Sari Jagung*. 242. <https://doi.org/10.5614/sniko.2015.34>
- Wahyudi, Y. ., Hadi, M. ., Handayanu, A. ., & Sendari, S. (2017). Implementasi Sistem Kendali PD (Propotinal Derivative) pada Navigasi Wall Follower Robot berkaki Enam (Hexapod). *5th Indonesian Syposium on Robotic System and Control*, 34–38.
- Wardhana, D. W., Wahyudi, A., & Nurhadi, H. (2016). Perancangan Sistem Kontrol PID Untuk Pengendali Sumbu Azimuth Turret Pada Turret-Gun Kaliber 20mm. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 512–516. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.18110>.