

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi Dasar Robot**

Kata robot berasal dari bahasa Czech, robota yang berarti pekerja, mulai menjadi populer ketika seorang penulis berbangsa Czech (Ceko), Karl Capek, membuat pertunjukan dari lakon komedi yang ditulisnya pada tahun 1921 yang berjudul RUR (Rossum's Universal Robot). (Pitowarno, 2006: 1).

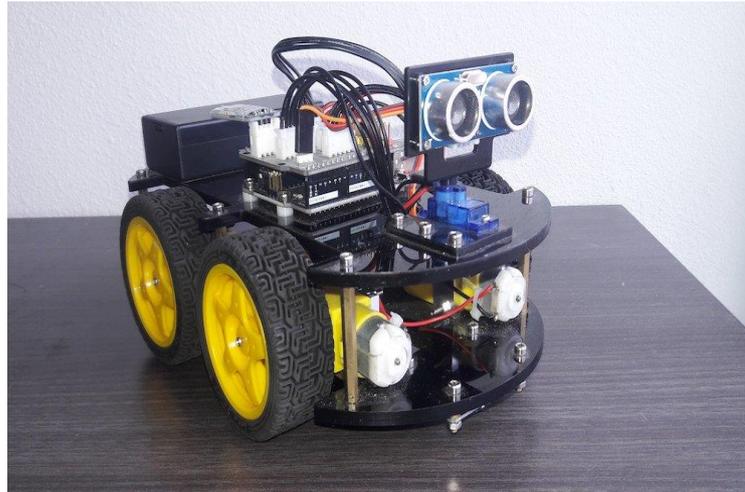
Robot dapat diartikan dengan alat mekanik yang diprogram dengan informasi dan lingkungan (melalui sensor) agar mampu melakukan beberapa tugas tertentu untuk membantu manusia melakukan pekerjaan secara efisien. Robot dapat dibedakan menjadi dua jenis menurut aktuatornya yaitu *non mobile robot* dan *mobile robot*.

#### **2.2 Mobile robot**

*Mobile robot* atau robot beroda merupakan konstruksi robot yang memiliki aktuator (roda) yang fungsinya menggerakkan bagian dari keseluruhan badan robot tersebut untuk membantunya bergerak berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya.

Robot ini memiliki sistem kerja secara mekanik dan elektronik, untuk bekerja secara mekanik, robot ini harus dilengkapi dengan komponen mekanik seperti motor DC yang berfungsi sebagai penggerak roda (aktuator) untuk menggerakkan robot, *chassis* yang berfungsi sebagai kerangka utama atau badan robot dan dapat digunakan sebagai tempat meletakkan komponen elektronik penyusun robot, dan komponen pendukung mekanik lainnya seperti baut dan mur.

Sedangkan untuk membuat robot ini dapat bekerja secara mekanik, diperlukan komponen elektronik, seperti sensor-sensor elektronik yaitu ultrasonik berfungsi mendeteksi jarak rintangan dan objek yang dituju, TCS3200 berfungsi mendeteksi warna, *controller* yang berfungsi sebagai penerima dan pengolah data dari *input* robot dan mengirim serta mengendalikan *output* motor DC untuk bergerak, dan baterai yang merupakan sumber utama penggerak komponen elektronik pada robot agar dapat bekerja secara optimal.



**Gambar 2.1** *Mobile Robot*

Sumber : <https://maker.pro/arduino/tutorial/an-ultrasonic-object-following-robot>

### 2.3 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara, dimana sensor ini menghasilkan gelombang suara yang kemudian menangkapnya kembali. Sensor ultrasonik ini akan melacak waktu antara pengiriman gelombang suara dan gelombang suara kembali. Persamaan untuk waktu pengiriman dan waktu gelombang itu kembali adalah sebagai berikut :

$$d = v \times t$$

Kecepatan waktu gelombang pengiriman dan kembali pada sensor ini dapat dipengaruhi oleh beberapa kondisi, yaitu suhu, kelembapan, dan tekanan.



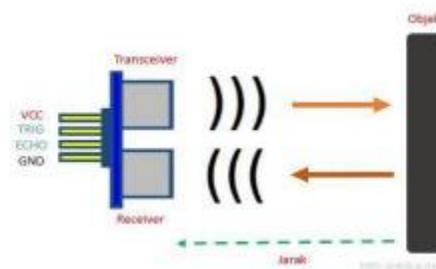
**Gambar 2.2** Sensor Ultrasonik HCR-04

Sumber : *Dokumentasi pribadi*

### 2.3.1 Prinsip Kerja Sensor Ultrasonik HC-SR04

Prinsip kerja sensor Ultrasonik HC-SR04, sensor ini menggunakan pancaran gelombang (sonar) untuk mengukur jarak sebuah objek. Ini yang akan terjadi :

1. *Transmitter* (pin *trigger*) memancarkan gelombang suara dengan frekuensi 40 KHz.
2. Ketika gelombang suara mengenai objek, maka akan dipantulkan kembali dan di terima *transmitter*.
3. Kemudian *transmitter* (pin *echo*) menerimanya.



**Gambar 2.3** Cara Kerja Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sumber : <https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-ultrasonic-sensor-hc-sr04/>

Saat dipancarkan, sensor ini akan menembakkan gelombang ultrasonik menuju suatu target (objek) yang merambat sebagai gelombang suara, setelah gelombang mengenai permukaan target, maka target tersebut akan memantulkan kembali gelombang tersebut. Gelombang pantulan dari target selanjutnya akan ditangkap oleh sensor, kemudian sensor akan mulai menghitung selisih antara waktu pengiriman gelombang dan waktu gelombang pantul diterima. Pada tugas akhir ini sensor Ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mendeteksi jarak antara tanaman dan mendeteksi halangan yang ada di depan *mobile robot*.

### 2.3.2 Spesifikasi Sensor Ultrasonik HC-SR04

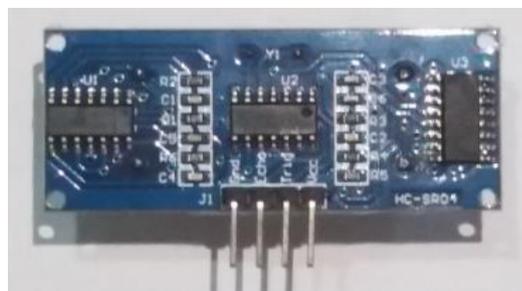
Sensor Ultrasonik HCR-04 memiliki beberapa spesifikasi seperti yang terlihat pada tabel 2.1 berikut ini.

**Tabel 2.1** Spesifikasi Sensor Ultrasonik HC-SR04

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Tegangan sumber operasi	5 V
2	Konsumsi arus	15 Ma
3	Frekuensi operasi	40 KHz
4	Minimum jarak	2 cm
5	Maksimum jarak	4 m
6	Dimensi	45 x 20 x 15 mm
7	Sudut pantul gelombang	15 derajat
8	Minimum waktu penyulutan	10 mikrodetik dengan pulsa berlevel TTL
9	Pulsa deteksi berlevel TTL	Sesuai dengan jarak deteksi

### 2.3.3 Konfigurasi Pin Sensor Ultrasonik HC-SR04

Pin sensor ultasonik HC-SR04 memiliki konfigurasi pin yang jumlahnya 4 pin, berikut ini penjelasan dari tiap-tiap pin :

**Gambar 2.4** Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sumber : *Dokumen pribadi*

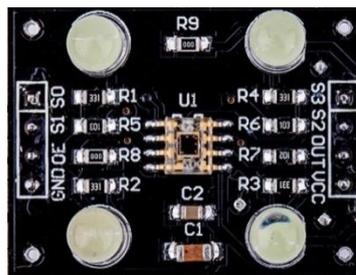
1. VCC adalah pin yang berfungsi sebagai sumber tegangan positif sensor, teganganya sebesar *5 volt power supply*.
2. *Trigger* adalah pin yang berfungsi sebagai pembangkit sinyal ultrasonik.
3. *Echo* atau indikator adalah pin yang berfungsi sebagai pendeteksi sinyal pantulan dari ultrasonik.
4. GND atau *ground* adalah pin yang berfungsi sebagai sumber tegangan negatif sensor.

## 2.4. Sensor Warna TCS3200

Sensor warna adalah sensor yang digunakan pada aplikasi mikrokontroler untuk pendeteksian suatu objek benda atau warna dari objek yang dimonitor. Salah satu jenis sensor warna yaitu TCS 3200.

TCS3200 merupakan konverter yang diprogram untuk mengubah warna menjadi frekuensi yang tersusun atas konfigurasi silikon photodiode dan konverter arus ke frekuensi dalam IC CMOS monolithic yang tunggal. Keluaran dari sensor ini adalah gelombang kotak (duty cycle 50%) frekuensi yang berbanding lurus dengan intensitas cahaya (irradiance).

Di dalam TCS3200 seperti gambar 2.4, konverter cahaya ke frekuensi membaca sebuah array 8x8 dari photodiode, 16 photodiode mempunyai penyaring warna biru, 16 photodiode mempunyai penyaring warna merah, 16 photodiode mempunyai penyaring warna hijau dan 16 photodiode untuk warna terang tanpa penyaring.



**Gambar 2.5** Sensor TCS3200

*Dokumen pribadi*

### 2.4.1 Prinsip Kerja Sensor Warna TCS3200

Sensor warna TCS3200 bekerja dengan cara membaca nilai intensitas cahaya yang dipancarkan oleh led super bright terhadap objek, pembacaan nilai intensitas cahaya tersebut dilakukan melalui matrik 8x8 photodiode, dimana 64 photodiode tersebut dibagi menjadi 4 kelompok pembaca warna, setiap warna yang disinari led akan memantulkan sinar led menuju photodiode, pantulan sinar tersebut memiliki panjang gelombang yang berbeda – beda tergantung pada warna objek yang terdeteksi, hal ini yang membuat sensor warna TCS3200 dapat membaca beberapa macam warna.

**Tabel 2.2** Mode pemilihan photo diode pembaca warna

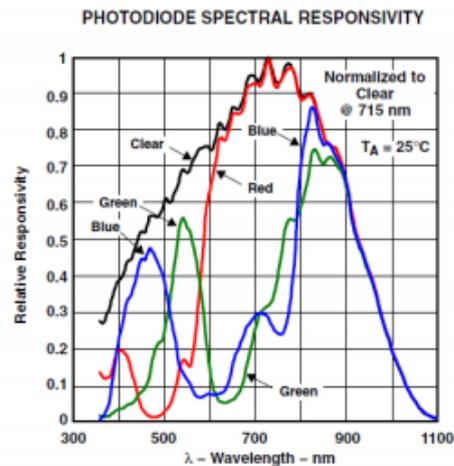
<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>Photo dioda</b>
0	0	Merah
0	1	Biru
1	0	Clear (no filter)
1	1	Hijau

#### **2.4.2 Karakteristik Sensor Warna TCS3200**

IC TCS3200 dapat dioperasikan dengan supply tegangan pada Vdd berkisar antara 2,7 Volt – 5,5 volt, dalam pengoperasiannya sensor tersebut dapat dilakukan dengan dua cara :

1. Dengan mode supply tegangan maksimum, yaitu dengan menyuplai tegangan berkisar antara 2,7volt – 5,5 volt pada sensor warna TCS3200.
2. Mode supply tegangan minimum , yaitu dengan menyuplai tegangan 0 sampai 0,8.

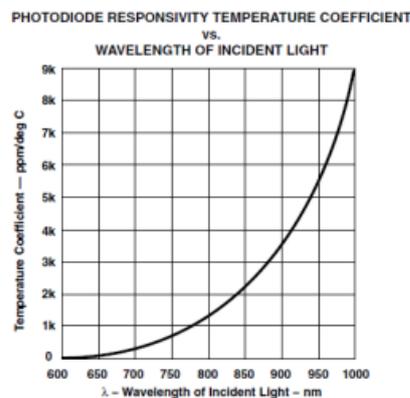
Sensor warna TCS3200 terdiri dari 4 kelompok photodiode, masing – masing kelompok memiliki sensitivitas yang berbeda satu dengan yang lainnya pada respon photodiode terhadap panjang gelombang cahaya yang dibaca, photodiode yang mendeteksi warna merah dan clear memiliki nilai sensitivitas yang tinggi ketika mendeteksi intensitas cahaya dengan panjang gelombang 715 nm, sedangkan pada panjang gelombang 1100 nm photo diode tersebut memiliki nilai sensitivitas yang paling rendah, hal ini menunjukkan bahwa sensor TCS3200 tidak bersifat linearitas dan memiliki sensitivitas yang berubah terhadap panjang gelombang yang diukur, gambar 2.6 menunjukkan karakteristik photodiode terhadap panjang gelombang cahaya.



**Gambar 2.6** Karakteristik sensitivitas dan linearitas photodiode terhadap panjang gelombang cahaya.

(Sumber : Data Sheet TAOS TCS 3200)

Semakin besar temperatur koefisien yang diperoleh dari photodiode, maka semakin jauh panjang gelombang yang dihasilkan oleh sensor, dimana besar atau kecil temperatur koefisien tersebut dipengaruhi oleh keadaan panjang gelombang atau pencahayaan, hal ini menunjukkan bahwa sensor TCS3200 memiliki karakteristik panjang gelombang yang linear.

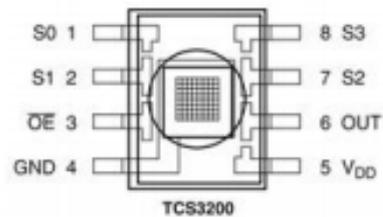


**Gambar 2.7** Menunjukkan Karakteristik Perbandingan Antara Temperatur Koefisien Terhadap Panjang Gelombang.

(Sumber : Data Sheet TAOS TCS 3200)

### 2.4.3 Konfigurasi Pin Sensor Warna TCS 3200

Pin sensor TCS3200 memiliki konfigurasi pin yang jumlahnya 8 pin, berikut ini gambar 2.8 dan tabel 2.3 penjelasan dari tiap-tiap pin :



**Gambar 2.8** pin-pin Sensor Warna TCS3200

(sumber : <http://elektronika-dasar.web.id/sensor-warna-tcs3200/>)

**Tabel 2.3** Fungsi pin Sensor Warna TCS3200

Nama	No Kaki IC	I/O	Fungsi Pin
GND	4	-	Sebagai Ground pada power supply
OE	3	I	Output enable, sebagai input untuk frekuensi output skala rendah
OUT	6	O	Sebagai output frekuensi
S0,S1	1,2	I	Sebagai saklar pemilih pada frekuensi output skala Tinggi
S2,S3	7,8	I	Sebagai saklar pemilih 4 kelompok diode
Vold	5	-	Supply tegangan

4 tipe warna dari photodiode telah diintegrasikan untuk meminimalkan efek ketidakseragaman dari insiden irradiance. Semua photodiode dari warna yang sama telah terhubung secara paralel. Pin S2 dan S3 digunakan untuk memilih grup dari photodiode (merah, hijau, biru, jernih) yang telah aktif.

Pada prinsipnya pembacaan warna pada TCS3200 dilakukan secara bertahap yaitu membaca frekuensi warna dasar secara simultan dengan cara memfilter pada tiap warna dasar. Untuk itu diperlukan sebuah pengaturan atau pemrograman untuk memfilter tiap-tiap warna tersebut.

## 2.5. Mikrokontroler Atmega328

Atmega328 merupakan keluaran dari atmel yang memiliki arsitektur RISC (*Reduce Instruction Set Computer*) yang mana setiap proses eksekusi data lebih

cepat dari pada arsitektur CISC (*Completed Instruction Set Computer*). Atmega328 ini memiliki sejumlah konfigurasi fungsional yang kompleks.

Pada tugas akhir ini Atmega328 digunakan untuk menerima data jarak yang dikirim oleh sensor jultrasonik dan data koordinat warna yang dikirim oleh Raspberry Pi dengan menggunakan sambungan kabel USB melalui komunikasi serial secara langsung. Dari data yang diterima Atmega328 inilah yang menentukan operasi pergerakan *mobile robot* menggunakan motor DC dan mengaktifkan *mini pump* untuk menyemprotan pestisida dari *mobile robot*. Bentuk fisik Atmega328 dapat dilihat pada gambar 2.9 berikut.



**Gambar 2.9** Bentuk Fisik Atmega328

Sumber : *Dokumen pribadi*

### 2.5.1 Spesifikasi Atmega328

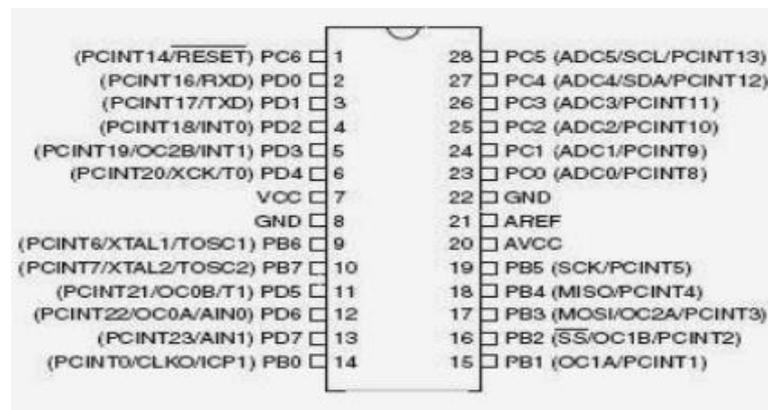
Atmega328 memiliki beberapa spesifikasi fungsional, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. 130 macam instruksi yang hampir semuanya dieksekusi dalam satu siklus clock.
2. 32x 8-bit register serba guna.
3. Memiliki kecepatan mencapai 16 MIPS dengan clock 16 MHz.
4. Memiliki kapasitas 32 KB Flash memory dan pada arduino memiliki *bootloader* yang menggunakan 2 KB dari *flash* memori sebagai *bootloader*.
5. Memiliki *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory* (EEPROM ) sebesar 1 KB sebagai tempat penyimpanan data semi permanent karena EEPROM tetap dapat menyimpan data meskipun catu daya dimatikan.
6. Memiliki SRAM (*Static RandomAccess Memory*) sebesar 2 KB.

7. Memiliki pin I/O digital sebanyak 14 pin 6 diantaranya PWM (*Pulse Width Modulation*) output.
8. Master / *Slave* SPI Serial.

### 2.5.2 Konfigurasi Pin Atmega328

Pin Atmega328 memiliki konfigurasi pin yang jumlahnya 28 pin, berikut ini penjelasan dari tiap-tiap pin :



**Gambar 2.10** Konfigurasi Tiap Pin Atmega328

Sumber :

<http://repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/66836/Chapter%20II.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

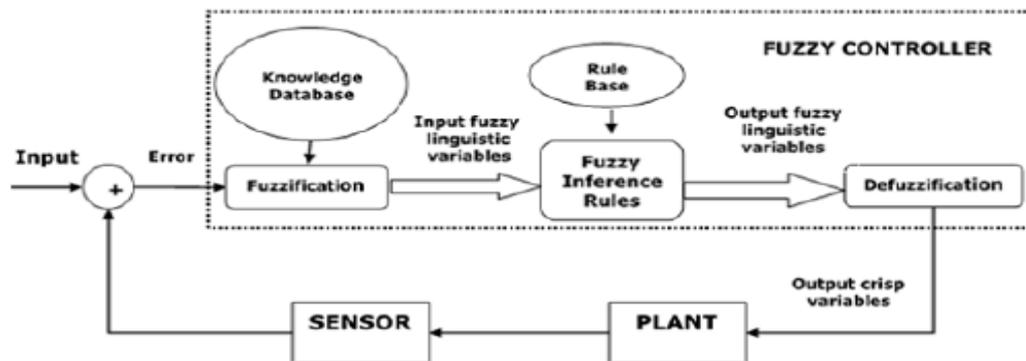
ATMega328 memiliki 3 buah PORT utama yaitu PORT B, PORT C, dan PORT D dengan total pin *input/output* sebanyak 23 pin. PORT tersebut dapat difungsikan sebagai *input/output* digital. Fungsi dari konfigurasi tiap pin ATMega328 sebagai berikut :

1. PortB, port B merupakan jalur data 8 bit yang dapat difungsikan sebagai *input/output*. Port B juga memiliki fungsi alternatif seperti :
  - a. ICP1 (PB0), berfungsi sebagai *Timer Counter 1 input capture* pin.
  - b. OC1A (PB1), OC1B (PB2) dan OC2 (PB3) dapat difungsikan sebagai keluaran *Pulse Width Modulation* (PWM).
  - c. MOSI (PB3), MISO (PB4), SCK (PB5),  $\overline{SS}$  (PB2) merupakan jalur komunikasi SPI.
  - d. Selain itu pin ini juga berfungsi sebagai jalur pemrograman serial (ISP).

- e. TOSC1 (PB6) dan TOSC2 (PB7) dapat difungsikan sebagai sumber *clock external* untuk *timer*.
  - f. XTAL1 (PB6) dan XTAL2 (PB7) merupakan sumber *clock* utama mikrokontroler.
2. Port C, port C merupakan jalur data 7 bit yang dapat difungsikan sebagai *input/output* digital. Fungsi lain port C antara lain sebagai berikut.
- a. ADC6 *channel* (PC0, PC1, PC2, PC3, PC4, PC5) dengan resolusi sebesar 10 bit. ADC dapat kita gunakan untuk mengubah *input* yang berupa tegangan analog menjadi data digital.
  - b. I2C (SDA dan SDL) merupakan salah satu fitur yang terdapat pada PORTC. I2C digunakan untuk komunikasi dengan sensor.
3. Port D, Port D merupakan jalur data 8 bit yang tiap pinnya juga dapat difungsikan sebagai *input/output*. Port D memiliki fungsi lain seperti :
- a. USART (TXD dan RXD) merupakan jalur data komunikasi serial dengan level sinyal TTL. Pin TXD berfungsi untuk mengirimkan data serial, sedangkan RXD kebalikannya yaitu sebagai pin yang berfungsi untuk menerima data serial.
  - b. *Interrupt* (INT0 dan INT1) merupakan pin dengan fungsi khusus sebagai interupsi *hardware*. Interupsi biasanya digunakan saat program berjalan kemudian terjadi interupsi *hardware/software* maka program utama akan berhenti dan akan menjalankan program interupsi.
  - c. XCK dapat difungsikan sebagai sumber *clock external* untuk USART, namun kita juga dapat memanfaatkan clock dari CPU, sehingga tidak perlu membutuhkan *external clock*.
  - d. T0 dan T1 berfungsi sebagai masukan *counter external* untuk timer 1 dan *timer 0*.
  - e. AIN0 dan AIN1 keduanya merupakan masukan *input* untuk analog comparator.

## 2.6 FLC (*Fuzzy Logic Control*)

*Fuzzy logic control* merupakan sistem kontrol yang merupakan pengaturan komponen fisik yang dirancang untuk mengubah sistem fisik sehingga sistem karakteristik yang diinginkan. Aturan kontrol logika *fuzzy* pada dasarnya berupa *IF-THEN*, agar dapat digunakan dengan baik merancang pengontrol. Berikut ini gambar yang menunjukkan diagram *fuzzy logic control* (FLC).



**Gambar 2.11** Diagram fuzzy logic control

Sumber :

[https://www.tutorialspoint.com/fuzzy\\_logic/fuzzy\\_logic\\_control\\_system.htm](https://www.tutorialspoint.com/fuzzy_logic/fuzzy_logic_control_system.htm)

Pada gambar 2.11 terlihat komponen utama *fuzzy logic control* berupa :

1. *Fuzzification* berfungsi mengubah nilai input menjadi nilai-nilai *fuzzy*.
2. Variabel *input fuzzy* berfungsi menyimpan *input* dan *output*.
3. *Rule fuzzy* berfungsi menyimpan proses domain.
4. Variabel *output* berfungsi mengambil keluaran *rules* sebagai keputusan perintah.
5. *Defuzzification* berfungsi mengubah nilai *fuzzy* yang didapat menjadi nilai *crisp output*.

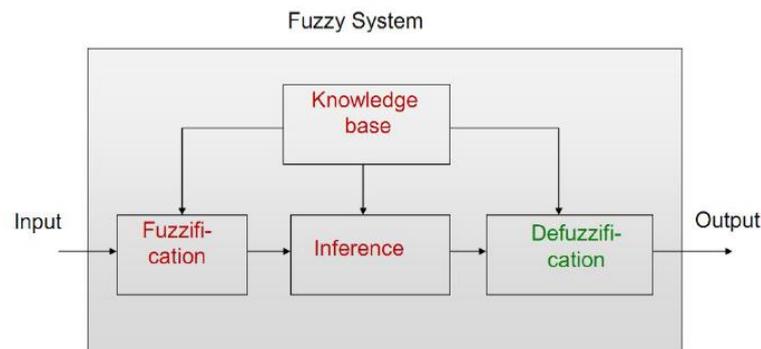
### 2.6.1 *Fuzzy logic*

*Fuzzy logic* atau logika *fuzzy* merupakan jenis logika multi nilai, yang berkaitan dengan perkiraan alasan yang belum tentu tepat. Logika *fuzzy* membutuhkan manusia untuk mengimplementasikan suatu sistem untuk melakukan sistem kontrol yang cerdas dan kompleks. Logika *fuzzy* memiliki

beberapa kelebihan, diantaranya kontrol sederhana, biaya rendah, dan dapat digambarkan sebagai penghitung kata daripada angka atau mengendalikan dengan kalimat persamaan. Pada tugas akhir ini metode yang digunakan adalah metode inferensi Mamdani.

### 2.6.2 Inferensi Mamdani

Metode inferensi mamdani merupakan metode yang paling umum digunakan. Inferensi mamdani memiliki empat langkah, yaitu fuzzifikasi *input*, evaluasi aturan, agregasi aturan, dan defuzzifikasi. Keempat langkah tersebut terlihat pada gambar 2.12 berikut ini.



**Gambar 2.12** Sistem Inferensi *Fuzzy* Mamdani

Sumber : [http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/4513/1/cd6786\\_77.pdf](http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/4513/1/cd6786_77.pdf)

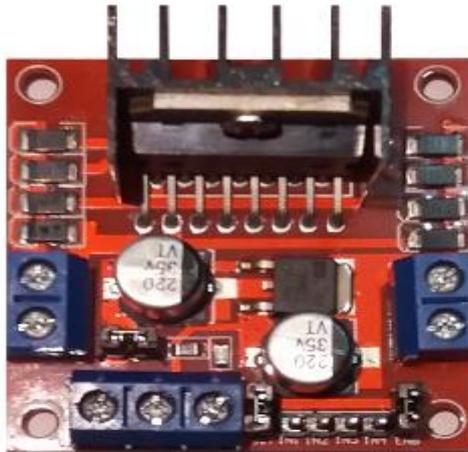
Fuzzifikasi mengonversi data input ke dalam tingkat keanggotaan fungsi, dalam proses ini data akan dicocokkan dengan kondisi aturan dan ditentukan data yang dicocokkan pada aturan *instance* tertentu. Dalam keadaan rules base tertentu ditulis sesuai dengan kebutuhan sistem, pada contoh kasus motor DC, terdapat dua variabel *input* dan kesalahan pilihan.

Pada motor DC aturan yang sering digunakan yaitu *if, and, then from*. Defuzzifikasi blok akan dikonversikan menghasilkan *fuzzy* set angka yang dikirim ke sistem, angka tersebut merupakan sinyal kontrol.

### 2.7 Driver Motor L298

*Driver* motor berfungsi untuk mngendalikan arah peturan motor sebagai aktuator yang menentukan posisi mobile robot berbelok ke kanan dan kiri. *Driver*

motor difungsikan sebagai pengendali motor secara langsung dengan menggunakan tegangan yang lebih besar, dikarenakan *output* mikrokontroler hanya 3,3 *volt* sampai 5 *volt* untuk penggunaan mikrokontroler tipe L298 merupakan tipe *driver* motor yang sangat sering digunakan karena pin I/O nya sudah terpasang rapi dan mudah digunakan. Berikut ini merupakan gambar dari *driver* motor L298 yang terlihat pada gambar 2.13 berikut ini.



**Gambar 2.13** *Driver* motor L298

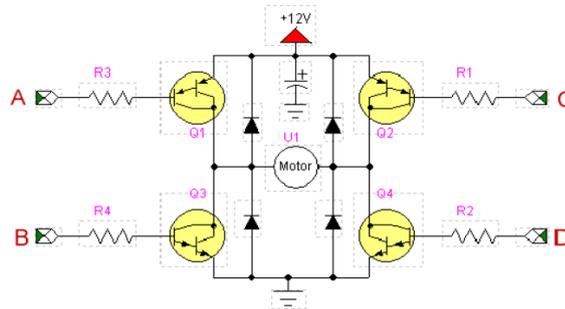
Sumber : *Dokumen pribadi*

Pada tugas akhir ini menggunakan *driver* motor L298 yang merupakan *driver* motor yang berbasis IC L298 dual *H-bridge* yang berfungsi untuk *driver* motor L298 ini mampu mengendalikan beban induktif diantaranya relay, solenoid, motor DC dan motor *stepper* yang umumnya bekerja dengan arus yang dibutuhkan sebesar 250 mA.

### 2.7.1 Prinsip Kerja *Driver* Motor L298

Prinsip kerja *driver* motor jenis L298N yaitu berdasarkan bentuk rangkaian transistornya yaitu *H-Bridge*. Rangkaian *H-bridge* ini menggunakan jenis transistor Bipolar (BJT). Rangkaian yang berbentuk seperti huruf H ini memiliki perbedaan fungsi pada setiap sisinya. Dimana motor akan bergerak *forward* atau searah jarum jam apabila transistor pada sebelah kiri atas (A) dan kanan bawah

(D) bernilai aktif (*high*), transistor kiri bawah (B) dan kanan atas (C) bernilai tidak aktif (*low*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.15 berikut ini.



**Gambar 2.14** Rangkaian Transistor *H-Bridge*

Sumber : *Datasheet*

**Tabel 2.4** Prinsip Kerja *Driver Motor L298*

Input Logika				Output Motor
In A	In B	In C	In D	
0	0	0	0	Motor tidak bergerak
1	0	0	1	Motor bergerak maju
0	1	1	0	Motor bergerak mundur
1	1	1	1	Motor tidak bergerak

### 2.7.2 Spesifikasi *Driver Motor L298*

*Driver* motor L298 memiliki beberapa spesifikasi, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Tegangan operasional 5 volt.
2. Daya maksimal 25 watt.
3. Dimensi modul 45 x 43 x 26 mm.
4. IC L298N, *Double H bridge Drive Chip*.
5. Tegangan minimal masukan antara 5 volt - 35 volt.
6. Arus masukan 0 - 36 mA.
7. Arus minimal pengeluaran peroutput A dan B 2A.

### 2.7.3 Konfigurasi pin *Driver* motor L298

Pin *driver* motor L298 memiliki konfigurasi pin yang jumlahnya 4 pin, berikut ini penjelasan dari tiap-tiap pin :

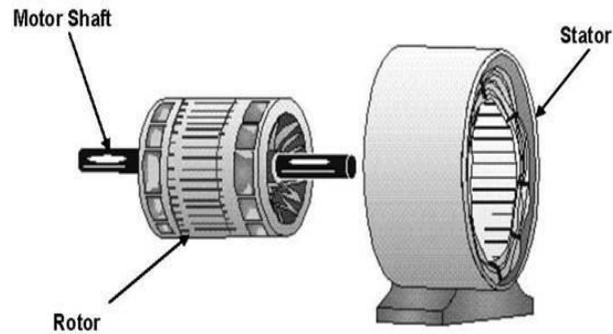
1. *Enable A* adalah pin yang fungsinya mengaktifkan bagian *output* motor A.
2. *Enable B* adalah pin yang fungsinya mengaktifkan bagian *output* motor B.
3. Jumper 5 *volt* DC fungsinya sebagai mode pemilihan sumber tegangan 5 *volt* DC, jika tidak di jumper maka akan ke mode pemilihan sumber tegangan 12 *volt* DC.
4. Control pin fungsinya sebagai pengendali perputaran dan kecepatan motor yang dihubungkan ke mikrokontroler.

## 2.8 Motor DC sebagai Aktuator Robot

Motor DC adalah suatu perangkat yang mengubah energi listrik menjadi energi kinetik atau gerakan (*motion*). Motor DC memiliki dua terminal dan memerlukan tegangan arus searah atau DC (*direct current*) untuk dapat menggerakannya. Arah putaran motor DC ditentukan oleh arus maju atau arus berbalik atau tegangan positif dan tegangan negatif pada motor DC, sedangkan kecepatan motor DC ditentukan oleh perubahan peningkatan tegangan kumparan pada motor DC tersebut.

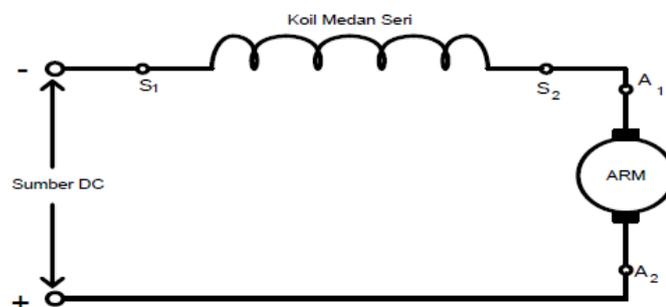
### 2.8.1 Prinsip Kerja Motor DC

Motor DC terdapat dua kumparan yaitu kumparan medan yang disebut stator (bagian yang tidak berputar) berfungsi untuk menghasilkan medan magnet dan kumparan jangkar yang disebut rotor (bagian yang berputar) berfungsi sebagai tempat terbentuknya gaya gerak listrik (GGL). Prinsip kerja dari motor DC yaitu rotor yang ditempatkan di antara kutub magnet, kemudian kutub magnet tersebut menghasilkan garis gaya medan magnet fluks. Garis gaya fluks yang dialiri arus akan menghasilkan torsi yang memutar jangkar.



**Gambar 2.15** Stator dan Rotor Motor DC

Sumber : <https://dw-inductionheater.com/wp-content/uploads/2015/04/stator-Rotor.jpg>



**Gambar 2.16** Prinsip Kerja Motor DC

Sumber :

[https://www.academia.edu/35261174l/pengaturan\\_ arus\\_starting\\_dan\\_kecvepatan\\_motor\\_dc\\_penguat\\_medan\\_seri\\_menggunakan\\_flc](https://www.academia.edu/35261174l/pengaturan_ arus_starting_dan_kecvepatan_motor_dc_penguat_medan_seri_menggunakan_flc)

Pada gambar 2.16 maka tegangan ( $V_t$ ) sumber dan tegangan jangkar ( $E_a$ ) merupakan GGL lawan, tegangan  $V_t$  dan  $E_a$  dapat diartikan bahwa :

$$E_a = V_t - I_a \cdot R_a$$

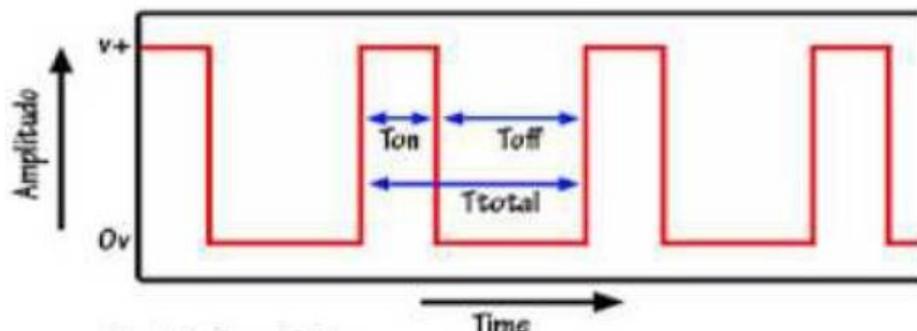
Ketika motor dijalankan, kecepatan dan tegangan induksi  $E_a$  masih sama dengan nol, dari persamaan  $I_a = (V_t - E_a)/R_a$ , untuk  $E_a = 0$  dan  $R_a$  yang cukup kecil dan arus dari  $I_a$  yang mengalir besar sekali. Untuk membatasi arus jangkar ( $I_a$ ) yang besar pada waktu start, diperlukan tahanan semula yang dipasang seri terhadap tahanan jangkar tersebut. Setelahnya induksi dibangkitkan dan rotor pun mulai berputar dan tahanan semula harus diturunkan. Penurunan tahanan semula ini dapat dikerjakan melalui operator atau secara otomatis.

### 2.8.2 Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan PWM

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengendalikan kecepatan putaran motor DC adalah menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM). PWM adalah suatu teknik modulasi yang mengubah lebar pulsa (*pulse width*) dengan nilai frekuensi dan amplitudo yang tetap. Sinyal tetap berada di posisi tinggi disebut dengan “*ON Time*” atau “Waktu *ON*” sedangkan sinyal tetap berada di posisi rendah atau 0V disebut dengan “*OFF Time*” atau “Waktu *OFF*”. Terdapat dua siklus kerja dalam PWM, yaitu PWM (*duty cycle*) dan Frekuensi PWM (*frequency*).

### 2.8.3 PWM Duty Cycle

Sinyal PWM akan tetap *ON* untuk waktu tertentu dan kemudian terhenti atau *OFF* selama sisa periodenya. Persentase waktu di mana sinyal PWM tetap pada kondisi tinggi (*ON Time*) disebut dengan “siklus kerja” atau “*Duty Cycle*”. Kondisi yang sinyalnya selalu dalam kondisi *ON* disebut sebagai 100% *duty cycle* dan kondisi sinyal dalam kondisi *OFF* (mati) disebut dengan 0% *duty cycle*. Rumus perhitungan *duty cycle* dapat dilihat pada 2.17 dan persamaan di bawah ini.



**Gambar 2.17** Sinyal PWM *Duty Cycle*

Gambar 2.17 menunjukkan sinyal PWM dimana :

1.  $t_{ON}$  = Waktu *ON*, waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi tinggi (high atau 1).
2.  $t_{OFF}$  = Waktu *OFF*, waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi rendah (low atau 0).

3.  $t_{total}$  = Waktu satu siklus atau penjumlahan antara  $t_{ON}$  dengan  $t_{OFF}$  atau disebut juga dengan periode satu gelombang.

$$T_{total} = T_{on} + T_{off}$$

Kita dapat mengatur lebar pulsa “on” dan “off” dalam satu periode gelombang melalui pemberian besar sinyal referensi output dari suatu PWM akan didapat *duty cycle* yang diinginkan. *Duty cycle* dari PWM dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$D = \frac{T_{on}}{T_{total}}$$

Tegangan keluaran dapat bervariasi *duty cycle* dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V_{out} = D \times V_{in} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in}$$

Keterangan :

$D$  = *Duty cycle*

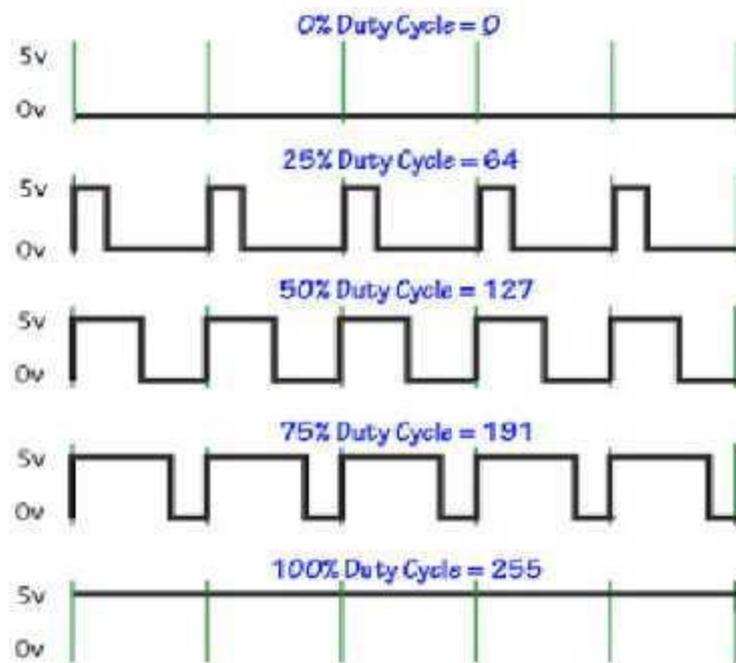
$V_{in}$  = Tegangan masukan

$V_{out}$  = Tegangan keluaran

Siklus Kerja = Waktu *ON* / (Waktu *ON* + Waktu *OFF*)

*Duty cycle* merupakan representasi dari kondisi logika high dan low dalam suatu periode sinyal dan dinyatakan dalam bentuk (%) dengan range 0% sampai 100%. Semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan maka akan berpengaruh terhadap kecepatan putaran motor sedangkan jika nilai *duty cycle* kecil maka motor akan bergerak lambat.

Dengan menggunakan metode analog setiap perubahan PWMnya sangat halus, sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Misalkan suatu PWM digital 8 bit berarti PWM ini memiliki resolusi sebanyak  $2^8 = 256$ , dimana nilai variasinya mulai dari 0 – 255 yang mewakili *duty cycle* 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut. Untuk lebih jelas perubahan nilai bisa dilihat pada Gambar 2.18.



**Gambar 2.18** Perubahan Pulsa *Pulse Width Modulation*