

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)[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*.

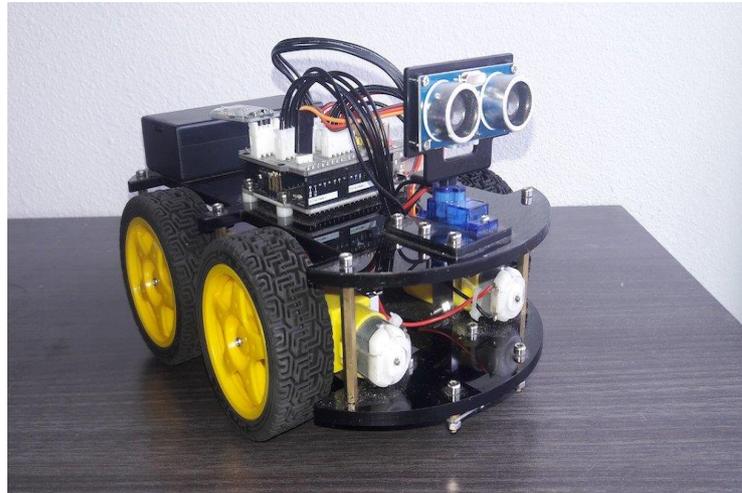
2.2 Mobile robot

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, modul kamera sebagai sensor citra dari lingkungan secara langsung, *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[2].



Gambar 2.1 *Mobile Robot*

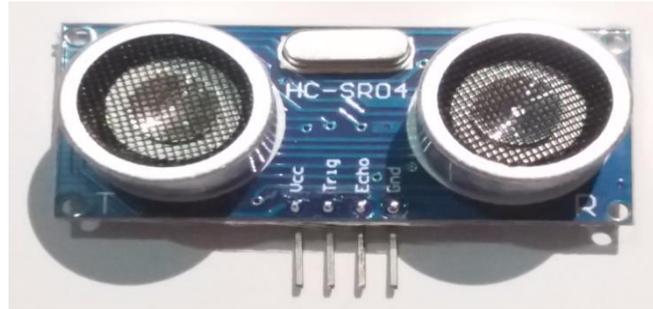
Sumber : <https://maker.pro/arduino/tutorial/an-ultrasonic-object-following-robot>

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 :

$$d = v \times t \dots\dots\dots(2.1)$$

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



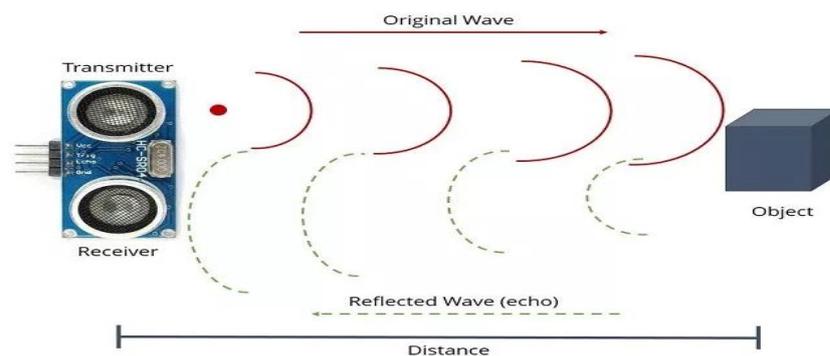
Gambar 2.2 Sensor Ultrasonik HC-SR04

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*[3].

2.3.2 Spesifikasi Sensor Ultrasonik HC-SR04

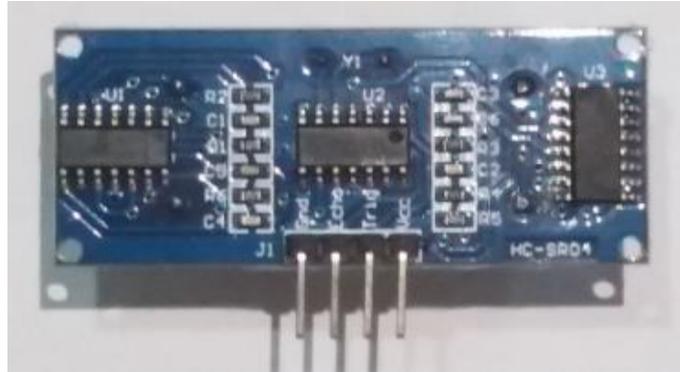
Sensor Ultrasonik HCR-04 memiliki beberapa spesifikasi seperti yang terlihat pada tabel 2.1 berikut ini.

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



Gambar 2.4 Pin Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sumber : *Dokumen pribadi*

1. VCC adalah pin yang berfungsi sebagai sumber tegangan positif sensor, tegangannya 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 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*[4][5]. Bentuk fisik Atmega328 dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Bentuk Fisik Atmega328

Sumber : *Dokumen pribadi*

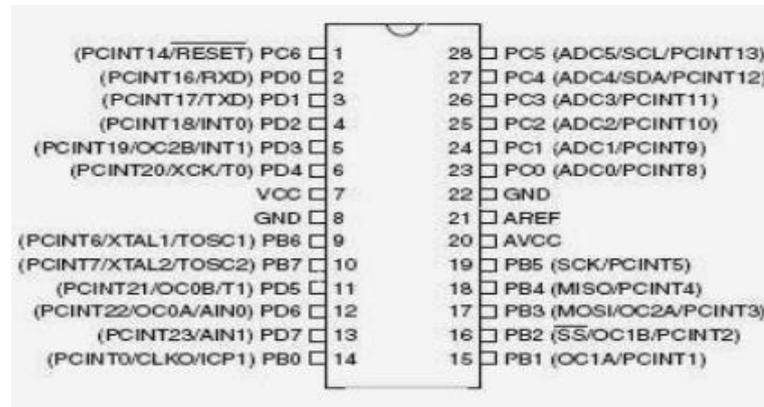
2.4.1 Spesifikasi Atmega328

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.

2.4.2 Konfigurasi Pin Atmega328

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



Gambar 2.6 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[6] :

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), 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.

- g. 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.
- 2. 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.

2.5 *Raspberry Pi*

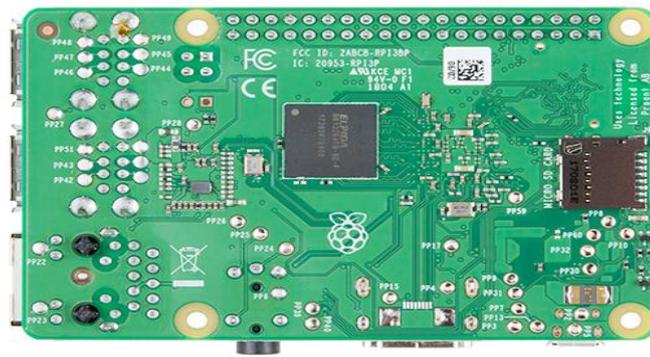
Raspberry Pi adalah sebuah komputer mini. *Raspberry Pi* telah dilengkapi *System on a Chip* (SoC) ARM yang dikemas dan diintegrasikan diatas PCB. Perangkat ini menggunakan kartu SD untuk *booting* dan penyimpanan jangka panjang. (Agfianto:2012)[7].

Raspberry Pi memiliki RAM dan macam-macam port sehingga raspberri pi ini dapat melakukan banyak hal yang biasa dilakukan oleh komputer saat ini pada umumnya, keuntungan menggunakan *raspberry pi* selain ukurannya kecil dan praktis, dan ekonomis masalah biayanya pun juga terjangkau.

Pada tugas akhir ini *raspberry pi* digunakan untuk mengontrol kamera, sehingga mendapat acuan posisi suatu objek dari apa yang dilihat oleh modul kamera dan memprosesnya untuk input trigger mikrokontroler pengontrol driver motor *mobile robot*. Berikut ini merupakan salah satu jenis tipe *raspberry pi* yaitu *raspberry pi 3 +* yang terlihat pada gambar 2.7 dan 2.8 berikut ini.



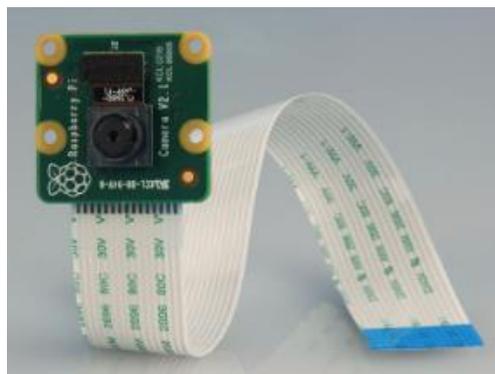
Gambar 2.7 *Raspberry Pi 3+* dari Depan



Gambar 2.8 *Raspberry Pi 3+* dari Belakang

Sumber : <http://www.labelektronika.com/2018/06/mengenal-raspberry-pi-3-model-b-plus.html>

Raspberry Pi dilengkapi juga dengan modul kamera Pi yang merupakan sensor citra 8 megapixel sehingga dapat mengambil foto dan video yang resolusi tinggi dengan menampilkan lensa fokus tetap dan di desain khusus untuk *raspberry pi*. Modul kamera ini secara langsung terhubung langsung ke konektor CSI pada *raspberry pi* yang dirancang khusus sebagai antar muka ke kamera. Tampilan dari modul kamera *raspberry pi* yang terlihat pada gambar 2.10 berikut ini.



Gambar 2.9 Modul Kamera *Raspberry Pi*

Sumber :

<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/RaspberryPi/RPiCamMod2.pdf>

Pada tugas akhir ini modul kamera *raspberry pi* berfungsi untuk menangkap objek (tanaman) dengan modul kameranya dan memprosesnya sebagai perintah melalui mikrokontroler Atmega328. Berikut ini spesifikasi modul kamera *raspberry pi*.

Tabel 2.2 Spesifikasi Modul Kamera *Raspberry Pi*

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Ukuran	25 x 24 x 9 mm
2	Berat	3g
3	Resolusi tetap	8 <i>Megapixels</i>
4	Mode video	180p30, 720p60 dan 640 x 480p60/90
5	Linux integrasi	V4L2 <i>driver available</i>
6	Progamming C API	<i>Open MAX IL and others available</i>
7	Sensor	Sony IMX219
8	Resolusi sensor	3280 c 2464 pixels
9	Sensor area citra	3,68 x 2,76mm
10	Ukuran <i>pixel</i>	1,12um x 1,12um
11	Ukuran <i>optical</i>	¼
12	<i>Focal lenght</i>	3,04 mm
13	<i>Horizontal field of view</i>	62,2 <i>degrees</i>
14	<i>Vertical field of view</i>	48,8 <i>degrees</i>
15	<i>Focal ration (F-stop)</i>	2,0

2.5.1 Spesifikasi *Raspberry Pi 3+*

Raspberry Pi 3+ memiliki beberapa spesifikasi, diantaranya adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Spesifikasi *Raspberry Pi 3+*

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Prosesor	<i>Broadcom BCM2837B0, Cortex A53 (ARMv8) 64 bit SoC @ 1.4 GHz</i>
2	Memori	1GB LPDDR2 SDRAM
3	Catu daya	5V/2.5A DC input daya (<i>microUSB</i>).
4	Nirkabel	LAN nirkabel 2.4 GHz dan 5 GHz IEEE 802.11.b / g / n / ac, <i>Bluetooth 4.2</i> , BLE
5	Ethernet	<i>Gigabit Ethernet over USB 2.0</i> (<i>throughput</i> maksimum 300 Mbps).
6	GPIO	<i>Header GPIO 4 pin</i> yang diperpanjang
7	Output video	HDMI ukuran penuh
8	Output audio	<i>Output stereo 4 tiang</i> dan <i>port video komposit</i>
9	Port USB	4 port USB 2.0
10	Suhu operasional	0-50°C
11	Dimensi	120mm x75mm x34mm
12	Berat	75 gram
13	<i>Port camera CSI</i>	Menghubungkan kamera <i>raspberry pi</i>
14	<i>Port tampilan DSI</i>	Menghubungkan layar <i>touchscreen raspberry pi</i>
15	<i>Port micro DSI</i>	Memuat sistem operasi dan menyimpan data

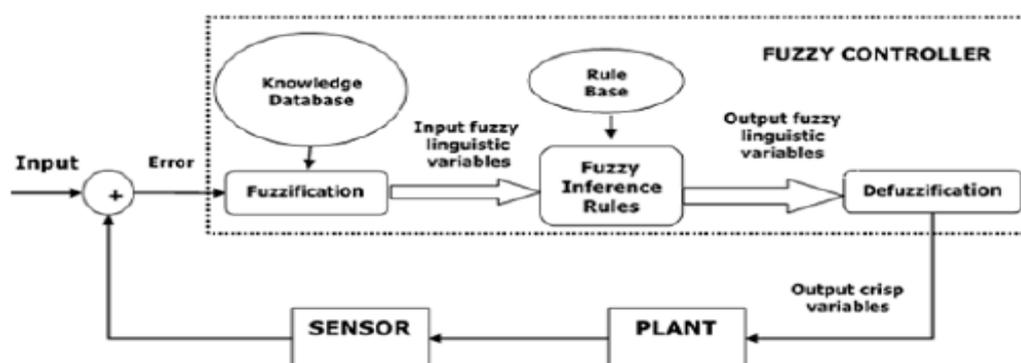
2.5.2 Kelebihan Raspberry Pi 3+

Raspberry Pi dalam penggunaan memiliki beberapa kelebihan, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Mampu melakukan segala hal yang dapat dilakukan oleh komputer atau laptop dengan sistem operasi linux.
2. Mampu menjalankan sistem operasi berbasis GUI yang dapat digunakan untuk melakukan kegiatan seperti *browsing*, mendengarkan lagu, dan menonton film.
3. Memiliki jumlah RAM dan kapasitas penyimpanan yang besar.
4. Dalam penyimpanan data *raspberry pi* tidak menggunakan *hard disk*, melainkan *SD card*.
5. *Raspberry Pi* dilengkapi *videocore 4 GPU* yang dapat memutar video dengan kualitas *blueray*.

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)[8].



Gambar 2.10 Diagram *Fuzzy Logic Control*

Sumber :

https://www.tutorialspoint.com/fuzzy_logic/fuzzy_logic_control_system.htm

a. *Rule base*

Rule base merupakan sistem *inference*, yang mana merupakan pemerosesan *input fuzzy logic* menjadi *output fuzzy* dengan melalui aturan (*rule*). *Rule base* pada sistem *fuzzy logic* terdiri dari *IF (antecedents)*, *THEN (conclusions)*.

b. *Membership Function*

Membership function merupakan kurva yang menunjukkan titik *input/ouput* ke dalam anggotannya.

c. *Defuzzification*

Defuzzification merupakan penggabungan seluruh *output fuzzy* menjadi sebuah perintah atau keputusan bagaimana *ouput* harus mengambil keputusan. *Defuzzification* dapat digambarkan sebagai berikut.

$$x' = \frac{\int x\mu(x)dx}{\int \mu(x)dx} \quad x' = \frac{\sum x\mu(x)}{\sum \mu(x)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

X = Hasil *fuzzy logic*

x' = *Ouput fuzzy logic*

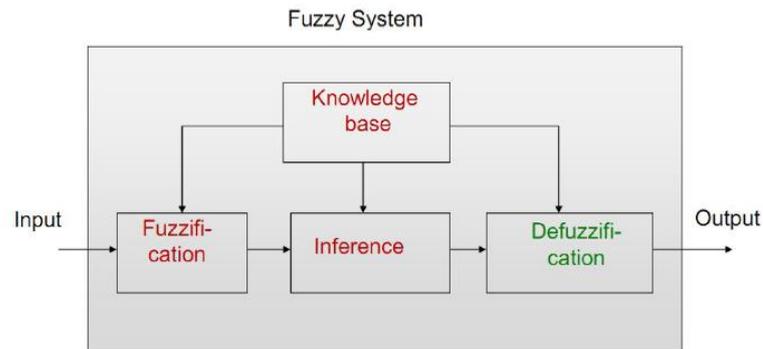
$\mu(x)$ = *Membership function*

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 susatu 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[9]. Pada tuigas 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 2.11 berikut ini.



Gambar 2.11 Sistem Inferensi *Fuzzy* Mamdani

Sumber : http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/4513/1/cd6786_77.pdf

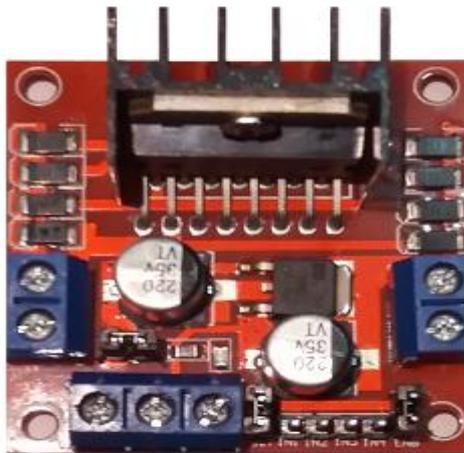
Fuzzifikasi mengonversi data *input* ke dalam tingkat keanggotaan fungsi, dalam proses ini data akan dicocokkan dengan kondisi aturan dan ditentukan data yang dicocokkan pada aturan *instance* tertentu. Dalam keadaan *rules base* tertentu ditulis sesuai dengan kebutuhan sistem, pada contoh kasus motor 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 L298N

Driver motor berfungsi untuk mengendalikan arah putaran 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 2.12 berikut ini.



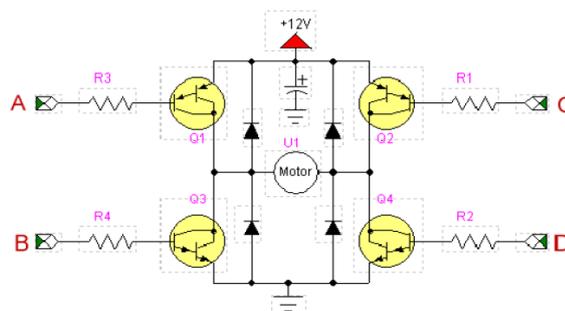
Gambar 2.12 *Driver* motor L298N

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 L298N

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 2.13 berikut ini.



Gambar 2.13 Rangkaian Transistor *H-Bridge*

Sumber : *Datasheet*

Tabel 2.4 Prinsip Kerja *Driver Motor L298N*

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 L298N*

Driver motor L298N 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 L298N

Pin *driver* motor L298N memiliki konfigurasi pin yang jumlahnya 4 pin, berikut ini penjelasan dari tiap-tiap pin :

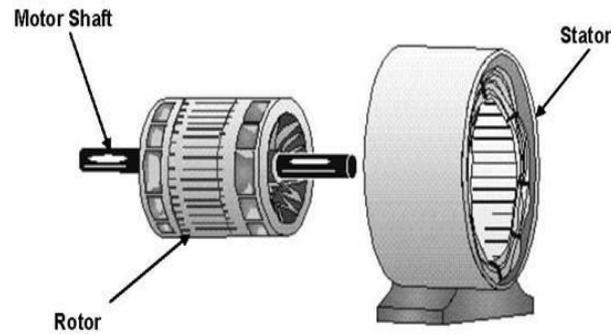
1. *Enable A* adalah pin yang fungsinya mengaktifkan bagian *output* motor A.
2. *Enable B* adalah pin yang fungsinya mengaktifkan bagian *output* motor B.
3. Jumper 5 *volt* DC fungsinya sebagai mode pemilihan sumber tegangan 5 *volt* DC, jika tidak di jumper maka akan ke mode pemilihan sumber tegangan 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[10].



Gambar 2.14 Stator dan Rotor Motor DC

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

Motor DC menggunakan prinsip gaya Lorentz, yang bekerja dengan cara ketika sebuah konduktor beraliran arus diletakkan dalam medan magnet, maka sebuah gaya akan tercipta secara ortogonal diantara arah medan magnet dan arah aliran arus. Persamaan dibawah ini bertujuan untuk mengatur kecepatan motor DC dengan menggunakan persamaan :

$$N = \frac{V_t - I_A R_A}{K \Phi} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

V_t = Tegangan jangkar

I_A = Arus jangkar motor

R_A = Hambatan jangkar motor

K = Konstanta motor

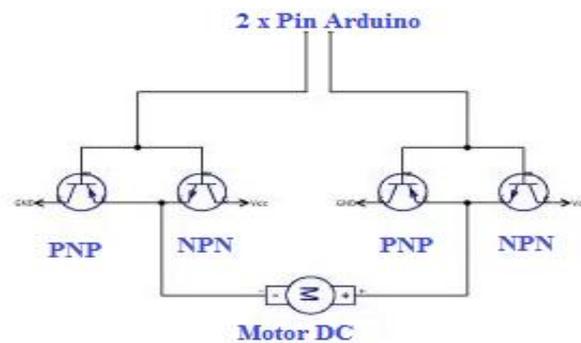
Φ = Fluks magnet yang terbentuk pada motor

Dari persamaan ini dapat dilihat bahwa perputaran motor DC dapat diatur dengan 2 cara, yaitu :

1. Tegangan jangkar dengan menggunakan nilai tegangan jangkar (V_t) dan dalam persamaan 2.2 jika nilai fluks magnet tetap maka hasil nilai besar sehingga kecepatan motor DC meningkatkan.
2. Arus medan dengan mengatur arus fluks (Φ) dan mengatur hambatan (R_A) sehingga akan meningkatkan kecepatan motor DC.

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*). Berikut ini merupakan gambar rangkaian pengatur kecepatan motor dengan PWM :

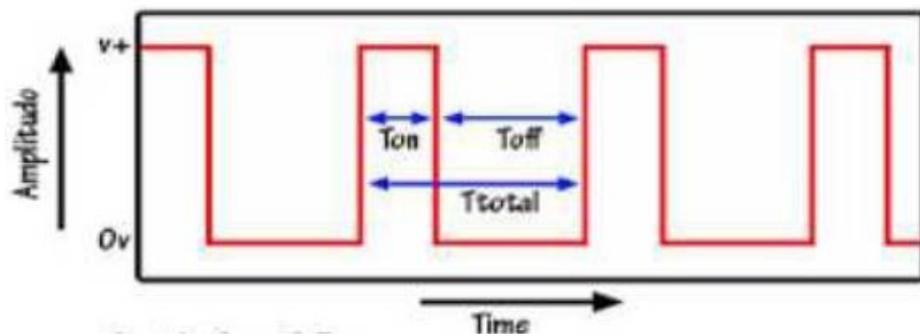


Gambar 2.15 Rangkaian Pengatur Kecepatan Motor dengan PWM

Sumber : <https://www.semesin.com/project/2018/03/31>

2.8.3 PWM *Duty Cycle*

Sinyal PWM akan tetap *ON* untuk waktu tertentu dan kemudian terhenti atau *OFF* selama sisa periodenya. Persentase waktu dimana 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 2.16 dan persamaan di bawah ini.



Gambar 2.16 Sinyal PWM *Duty Cycle*

Sumber : <https://depokinstruments.com/pwm-pulse-width-modulation/>

Gambar 2.15 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.

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \dots \dots \dots (2.4)$$

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 :

$$D = \frac{T_{on}}{T_{total}} \dots \dots \dots (2.5)$$

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

$$V_{out} = D \times V_{in} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

D = *Duty cycle*

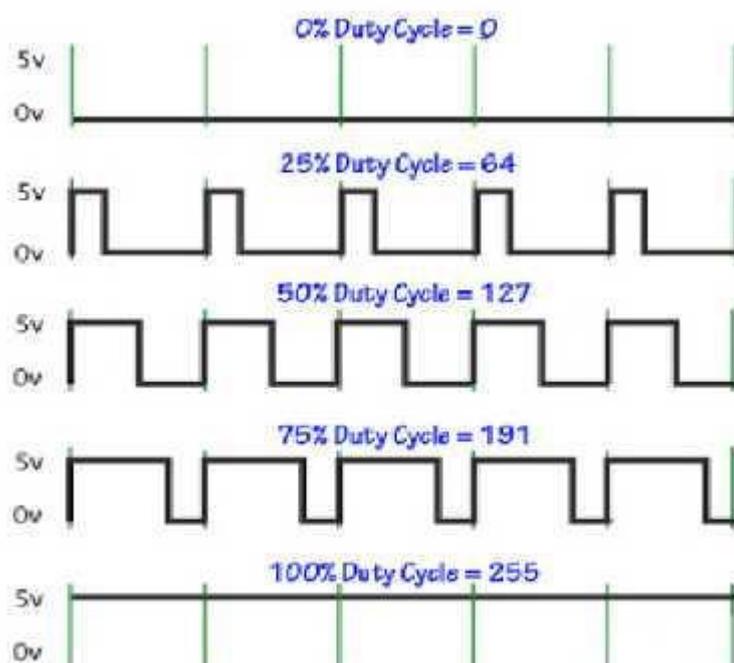
V_{in} = Tegangan masukan

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 2.17.



Gambar 2.17 Perubahan Pulsa *Pulse Width Modulation*

Sumber : <https://depokinstruments.com/pwm-pulse-width-modulation/>

2.9 Mini Pompa DC

Mini Pompa DC merupakan salah satu jenis mesin yang digunakan untuk memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat yang lainnya dengan melalui media perpipaan, dengan cara menambahkan energi ke cairan dan dipindahkan secara terus menerus. Salah satu contoh pompa yang sering digunakan saat ini adalah pompa mini motor DC (*mini water pump*). Jenis pompa ini masuk dalam kategori pompa air yang fleksibel karena memiliki desain kecil dan mudah dalam pemasangannya. Pada tugas akhir ini mini pompa DC digunakan untuk menyemprotkan pestisida untuk membasmi hama pada tanaman.

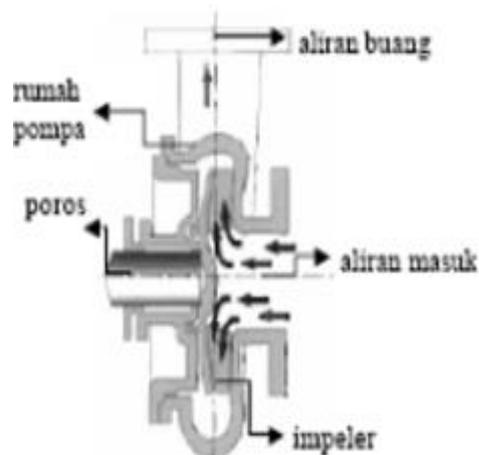


Gambar 2.18 Mini Pompa DC

Sumber : <https://tokokomputer007.com/mini-water-pump-pompa-air-mini-dengan-banyak-fungsi/>

2.9.1 Prinsip Kerja Mini Pompa DC

Prinsip kerja mini pompa DC yaitu berdasarkan perubahan energi mekanik (putaran) menjadi energi *fluida head* yang terdapat sudut-sudut impeler yang dipasang pada poros pompa yang saling berhubungan dengan *range* tegangan 6-12 *volt*. Ketika poros pompa berputar maka zat cair yang ada di dalamnya juga ikut berputar, sehingga tekanan dan kecepatan dan mulai mengalirkan cairan dari tengah pompa menuju *nozzle* untuk keluarnya cairan.



Gambar 2.19 Proses Pemompaan

Sumber : <https://www.tneutron.net/industri/prinsip-kerja-pompa/>

Pada gambar 2.19 dapat dilihat bahwa fungsi dari impeler pada pompa mengubah energi mekanik menjadi energi fluida (zat cair). Zat cair yang masuk kedalam pompa mengalami penambahan energi, penambahan energi ini mengakibatkan tekanan dan kecepatan, sehingga cairan menuju *nozzle* untuk keluar.

2.9.2 Spesifikasi Mini Pompa DC

Mini pompa DC memiliki beberapa spesifikasi seperti yang terlihat pada tabel 2.5 berikut ini.

Tabel 2.5 Spesifikasi Mini Pompa DC

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Dimensi	92 x 46 x 35 mm
2	Tegangan DC	6-12 V
3	Maksimal volume	700 ML/30 S
4	Input dan output	luar 8mm, dalam 4,8mm