



TESIS - EE185401

# SISTEM FORMASI LEADER-FOLLOWER MULTI-MOBILE ROBOT UNTUK Mencari Sumber Kebocoran Gas

SIROJUL HADI  
NRP 07111650042004

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.  
Dr. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019





TESIS - EE185401

**SISTEM FORMASI LEADER-FOLLOWER MULTI-  
MOBILE ROBOT UNTUK Mencari SUMBER  
KEBOCORAN GAS**

SIROJUL HADI  
NRP 07111650042004

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.  
Dr. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN


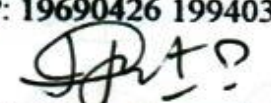
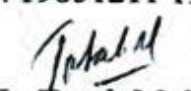

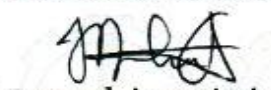
Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Sirojul Hadi  
NRP. 07111650042004

Tanggal Ujian : 20 Desember 2018  
Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh:

-   
1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T. (Pembimbing I)  
NIP: 19690426 199403 1 003
-   
2. Dr. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng. (Pembimbing II)  
NIP: 19651211 199002 1 002
-   
3. Dr. Ir. Totok Mujiono, M.Ikom. (Penguji)  
NIP: 19650422 198903 1 001
-   
4. Astria Nur Irfansyah, S.T., M.Eng., Ph.D (Penguji)  
NIP: 19810325 201012 1 002
-   
5. Muhammad Attamimi, B.Eng, M.Eng, Ph.D (Penguji)  
NPP: 1985201711039



Dekan Fakultas Teknologi Elektro

  
Tri Anief Sardjono, S.T., M.T.  
NIP. 197002121995121001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **PERNYATAAN KEASLIAN TESIS**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“SISTEM FORMASI LEADER-FOLLOWER MULTI-MOBILE ROBOT UNTUK Mencari Sumber Kebocoran Gas”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Desember 2018



Sirojul Hadi

NRP. 07111650042004

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **SISTEM FORMASI LEADER-FOLLOWER MULTI-MOBILE ROBOT UNTUK Mencari SUMBER KEBOCORAN GAS**

Nama mahasiswa : Sirojul Hadi  
NRP : 07111650042004  
Pembimbing : 1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.  
2. Dr. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng.

## **ABSTRAK**

Ada beberapa gas yang dapat membahayakan kesehatan manusia. Gas elpiji atau gas methane adalah salah satu gas yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Apabila gas tersebut masuk ke dalam tubuh manusia maka akan menyebabkan sesak nafas sampai kehilangan kesadaran. Oleh karena itu, dibutuhkan alat yang dapat mencari sumber kebocoran gas. Dalam penelitian ini dibangun suatu sistem *leader-follower multi-mobile* robot yang digunakan untuk mencari sumber kebocoran gas. Sekelompok robot tersebut dapat membentuk suatu formasi huruf V dengan memilih *leader* dan *follower* dari kelompok *mobile robot*. Ada tiga robot yang digunakan dalam membentuk formasi. Ide pembentukan formasi *leader-follower* ini bertujuan agar *mobile robot* tidak mudah kehilangan arah dari sumber gas. Jika menggunakan satu *mobile robot* maka akan mudah kehilangan arah dari sumber gas apabila terjadi perubahan arah dari sumber gas. Arah aroma dari gas akan sangat mudah berubah jika tertiup angin. Algoritma formasi *leader-follower* menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) sederhana. Jarak antar robot didapatkan dari merepresentasikan nilai *Receive Signal Strength Indicator* (RSSI) sebagai jarak. Untuk mengontrol pergerakan dari *mobile robot* digunakan metode *Fuzzy Logic Control* (FLC). Dengan algoritma PSO, formasi kelompok *mobile robot* dapat mempertahankan jarak antar masing-masing robot yaitu 1 meter sampai 2 meter. Formasi dapat berubah jika pemimpin robot kehilangan arah dari sumber gas. Berdasarkan hasil 10 kali percobaan, presentase keberhasilan membentuk formasi yaitu 80% dan presentase keberhasilan menemukan sumber gas yaitu 60%. Sedangkan jika menggunakan satu *mobile robot*, presentase keberhasilan sebesar 30%. Oleh karena itu formasi tiga *mobile robot* memiliki tingkat ke efektifan yang lebih baik dibandingkan dengan hanya satu *mobile robot*.

Kata kunci: Formasi *Leader-Follower*, PSO, FLC, Gas Sensor

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **SISTEM FORMASI LEADER-FOLLOWER MULTI-MOBILE ROBOT UNTUK MENCARI SUMBER KEBOCORAN GAS**

By : Sirojul Hadi  
Student Identity Number : 07111650042004  
Supervisor(s) : 1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.  
2. Dr. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng.

## **ABSTRACT**

There are several gases that can endanger human health. LPG gas or methane gas is one of gas that is harmful to human health. If the gas enters the human body, it will cause shortness of breath until it loses consciousness. Therefore, robot that can find the source of gas is needed. In this study a leader-follower multi-mobile robot system was used to find the source of gas leaks. A group of robots can form a V-letter formation by selecting leaders and followers from the mobile robot group. The three robots are used in forming formation. The idea of forming a leader-follower formation is to make mobile robots easily lose their direction from gas sources. If using a mobile robot, it will be easy to lose direction from the gas source if there is a change in direction from the gas source. The direction of the aroma of the gas will be very easy to change if it's blown by the wind. The leader-follower formation algorithm uses a simple Particle Swarm Optimization (PSO) method. The distance between robots is derived from representing the value of the Receive Signal Strength Indication (RSSI). To control the movement of the mobile robot, the Fuzzy Logic Control (FLC) method is used. With the PSO algorithm, the formation of a mobile robot group will maintain the distance of each robot, which is 1 meter to 2 meters. Formations can change if the robot leader loses direction from the gas source. By 10 experiments, formation-making has reached 80% of percentage and for finding a gas source has reached 60% of percentage. On the other hand, for one mobile robot, formation-making has reached 30% of percentage. Because of that, 3-mobile robot formation is more effective than by using one mobile robot.

*Keywords:* Formation Leader-Follower, PSO, FLC, Gas Sensor

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala nikmat-Nya tesis ini dapat diselesaikan. Tesis berjudul **“SISTEM FORMASI LEADER-FOLLOWER MULTI-MOBILE ROBOT UNTUK Mencari Sumber Kebocoran Gas”** ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT. dan Dr. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran, bantuan serta bimbingan dalam penelitian penulis.
2. Dr. Ir. Totok Mujiono, M.IKom., Astria Nur Irfansyah, ST., M.Eng., Ph.D., Muhammad Attamimi, B.Eng., M.Eng., Ph.D. selaku penguji yang telah memberikan saran untuk memperbaiki buku tesis ini.
3. Kepada Koordinator Pascasarjana Teknik Elektronika, Koordinator Pascasarjana Jurusan Teknik Elektro dan Ketua Jurusan Teknik Elektro serta karyawan Pascasarjana Teknik Elektro yang telah membantu penulis dalam segala urusan administrasi selama menempuh kuliah di ITS.
4. Ayahanda, Ibunda, dan keluarga besar yang memberikan dukungan serta motivasi untuk penulis dalam menempuh studi pascasarjana.
5. Rekan-rekan S2 angkatan 2017, Diptya, Davi, Reza, Farid yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas selama masa kuliah dan tesis ini.
6. Baiq Maylinda Gemantari yang telah banyak membantu penulis dalam mengoreksi paper.

7. Seluruh Civitas Akademisi Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, atas segala bantuan yang telah diberikan.

Semoga Tuhan yang pengasih lagi penyayang membalas budi baik mereka semua. Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa tesis ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat demi kemajuan Bangsa.

Surabaya, 20 Desember 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Kontribusi .....	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....	5
2.1 Kajian Penelitian Terkait .....	5
2.2 Sistem Formasi <i>Leader-Follower Multi Mobile Robot</i> .....	5
2.3 Konsep <i>Particle Swarm Optimization</i> Pada <i>Mobile Robot</i> .....	8
2.3.1 Variasi dari <i>Particle Swarm Optimization</i> .....	11
2.4 <i>Mobile Robot</i> .....	14
2.4.1 Model Kinematik Dari <i>Mobile Robot</i> .....	15
2.5 Pengukuran Jarak Menggunakan Sensor Ultrasonik Pada <i>Mobile Robot</i> .....	17
2.6 Modul Xbee .....	19
2.6.1 <i>Received Signal Strength Indication (RSSI)</i> .....	20
2.7 Sensor Gas .....	21
2.8 Konsep <i>Fuzzy Logic Control</i> Pada <i>Mobile Robot</i> .....	23
2.8.1 Navigasi dan Kontrol <i>Mobile Robot</i> Berbasis <i>Fuzzy Logic Control</i> .....	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	29
3.1 Diagram Blok Sistem Secara Keseluruhan .....	30
3.2 Desain Formasi <i>Leader-Follower Multi-Mobile Robot</i> .....	31
3.3 Desain <i>Particle Swarm Optimization Multi-Mobile Robot</i> .....	33
3.4 Desain <i>Fuzzy Logic Control Mobile Robot</i> .....	35
3.4.1 <i>Fuzzification</i> .....	36
3.4.2 <i>Inference</i> .....	37
3.4.3 <i>Defuzzification</i> .....	38
3.5 Skenario Percobaan .....	39
3.6 Desain Mekanik <i>Mobile Robot</i> .....	41
3.7 Perancangan Perangkat Keras <i>Mobile Robot</i> .....	43
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	45
4.1 Pengujian Sensor Gas .....	45
4.1.1 Tujuan Pengujian Sensor Gas .....	45
4.1.2 Prosedur Pengujian Sensor Gas .....	45
4.1.3 Hasil Pengujian dan Analisa Sensor Gas .....	46
4.2 Pengujian Sensor Jarak .....	48

4.2.1	Tujuan Pengujian Sensor Jarak.....	48
4.2.2	Prosedur Pengujian Sensor Jarak.....	48
4.2.3	Hasil Pengujian dan Analisa Sensor Jarak .....	49
4.3	Pengujian Jarak Menggunakan Nilai RSSI .....	50
4.3.1	Tujuan Pengujian Jarak Menggunakan Nilai RSSI .....	50
4.3.2	Prosedur Pengujian Jarak Menggunakan Nilai RSSI .....	50
4.3.3	Hasil Pengujian dan Analisis Jarak Menggunakan Nilai RSSI .....	51
4.4	Pengujian <i>Fuzzy Logic Control</i> Pada <i>Mobile Robot</i> .....	53
4.4.1	Tujuan Pengujian FLC .....	53
4.4.2	Prosedur Pengujian FLC.....	53
4.4.3	Hasil Pengujian dan Analisis FLC .....	54
4.5	Pengujian Jarak Antar Robot Dalam Formasi.....	58
4.5.1	Tujuan Pengujian Jarak Antar Robot Dalam Formasi.....	58
4.5.2	Prosedur Pengujian Jarak Antar Robot Dalam Formasi.....	59
4.5.3	Hasil Pengujian dan Analisis Formasi <i>Leader-Follower</i> <i>Multi-Mobile Robot</i> .....	59
4.6	Pengujian Sistem Formasi <i>Leader-Follower</i> .....	63
4.6.1	Tujuan Pengujian Sistem Formasi <i>Leader-Follower</i> .....	63
4.6.2	Prosedur Pengujian Sistem Formasi <i>Leader-Follower</i> .....	63
4.6.3	Hasil Pengujian Sistem Formasi <i>Leader-Follower</i> .....	64
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....		67
5.1	Kesimpulan.....	67
5.2	Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....		69
LAMPIRAN .....		71



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Biological swarms</i> di alam .....	6
Gambar 2.2 Model formasi dari tiga <i>mobile robot nonholonomic</i> .....	7
Gambar 2.3 Ilustrasi algoritma PSO pada <i>mobile robot</i> . ....	11
Gambar 2.4 Variasi dari PSO.....	11
Gambar 2.5 <i>Platform</i> robot komersial .....	14
Gambar 2.6 Modek kinematik dari <i>mobile robot</i> .....	15
Gambar 2.7 Situasi pengukuran jarak menggunakan sensor ultrasonik .....	18
Gambar 2.8 Ilustrasi cara kerja sensor ultrasonik. ....	18
Gambar 2.9 komunikasi serial dari modul Xbee.....	19
Gambar 2.10 Penyerapan O <sub>2</sub> oleh sensor gas .....	22
Gambar 2.11 Komponen dan rangkaian dasar sensor MQ-2.....	22
Gambar 2.12 Diagram blok <i>fuzzy logic control</i> .....	23
Gambar 2.13 Fungsi triangular diagramatik .....	25
Gambar 2.14 Diagram blok navigasi <i>mobile robot</i> dengan metode FLC. ....	26
Gambar 2.15 Robot dalam <i>cartesian space</i> . ....	26
Gambar 2.16 robot dalam <i>cartesian space</i> selama melakukan pergerakan .....	27
Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian .....	29
Gambar 3.2 Diagram blok sistem secara keseluruhan .....	30
Gambar 3.3 Formasi <i>leader follower</i> multi <i>mobile robot</i> . ....	31
Gambar 3.4 Ilustrasi formasi <i>leader-follower multi-mobile robot</i> dalam mencari sumber kebocoran gas .....	32
Gambar 3.5 Diagram alir algoritma <i>particle swarm optimization</i> .....	34
Gambar 3.6 Diagram blok algoritma <i>fuzzy logic</i> pada <i>mobile robot</i> . ....	35
Gambar 3.7 Diagram blok kemudi <i>mobile robot</i> menggunakan metode <i>fuzzy logic</i> .....	36
Gambar 3.8 <i>Input</i> derajat keanggotaan FLC .....	36
Gambar 3.9 Keluaran <i>membership function</i> dari motor DC .....	38
Gambar 3.10 Skenario Percobaan dalam membuat formasi <i>leader-follower</i> . ....	39
Gambar 3.11 (a) Menggunakan tiga <i>mobile robot</i> untuk mencari sumber gas (b) menggunakan satu <i>mobile robot</i> untuk mencari sumber gas. ....	40
Gambar 3.12 Skenario percobaan multi <i>mobile robot</i> dalam mencari sumber kebocoran gas .....	41
Gambar 3.13 Desain mekanik <i>mobile robot</i> .....	42
Gambar 3.14 Realisasi dari desain mekanik <i>mobile robot</i> .....	42
Gambar 3.15 skematik diagram blok hardware <i>mobile robot</i> .....	43
Gambar 3.16 <i>Shield</i> arduino Mega 2596.....	44
Gambar 4.1 Prosedur pengujian sensor gas .....	46
Gambar 4.2 Pengujian sensor gas terhadap jarak dari sumber gas .....	47
Gambar 4.3 Pengukuran waktu pemanasan internal sensor gas .....	48
Gambar 4.4 Prosedur pengujian sensor ultrasonik.....	48
Gambar 4.5 Hasil Pengukuran Jarak benda terhadap sensor jarak .....	50

Gambar 4.6	Prosedur pengukuran jarak menggunakan RSSI .....	51
Gambar 4.7	Pengujian nilai RSSI terhadap jarak antar robot .....	52
Gambar 4.8	Pengukuran jarak antar robot menggunakan nilai RSSI .....	53
Gambar 4.9	Prosedur pengujian FLC ketika sumber gas 45° .....	53
Gambar 4.10	Prosedur pengujian FLC ketika sumber gas 125°.....	54
Gambar 4.11	Respon sensor gas ketika mencari sumber gas pada sudut 45° .....	56
Gambar 4.12	<i>Error</i> sensor gas sebagai masukkan dari FLC ketika mencari sumber gas pada sudut 45° .....	56
Gambar 4.13	Respon keluaran FLC berupa kecepatan motor ketika mencari sumber gas pada sudut 45° .....	56
Gambar 4.14	Respon sensor gas ketika mencari sumber gas pada sudut 125° .....	57
Gambar 4.15	Error sensor gas sebagai masukkan dari FLC ketika mencari sumber gas pada sudut 125°.....	57
Gambar 4.16	Respon keluaran <i>fuzzy logic</i> berupa PWM motor ketika mencari sumber gas pada sudut 125°.....	57
Gambar 4.17	Hasil pengujian FLC dengan sudut sumber gas terhadap robot 45° .....	58
Gambar 4.18	Hasil pengujian FLC dengan sudut sumber gas terhadap robot 125° .....	58
Gambar 4.19	Prosedur percobaan formasi <i>leader-follower multi-mobile robot</i> ketika mencari sumber gas .....	59
Gambar 4.20	Lintasan kelompok <i>mobile robot</i> dengan robot 2 sebagai leader selama pencarian sumber gas .....	60
Gambar 4.21	konfigurasi formasi <i>leader-follower</i> dari sekelompok <i>mobile robot</i> dalam daerah kartesian dengan robot 2 sebagai <i>leader</i> . .....	61
Gambar 4.22	Lintasan kelompok <i>mobile robot</i> dengan robot 3 sebagai <i>leader</i> selama pencarian sumber gas. ....	61
Gambar 4.23	konfigurasi formasi <i>leader-follower</i> dari sekelompok <i>mobile robot</i> dalam daerah kartesian dengan robot 3 sebagai <i>leader</i> . .....	62
Gambar 4.24	Hasil pengujian <i>leader-follower multi-mobile robot</i> ketika mencari sumber gas. ....	62
Gambar 4.25	Pengujian formasi ketika mencari sumber gas .....	63
Gambar 4.26	Pengujian satu <i>mobile robot</i> ketika mencari sumber gas .....	64
Gambar 4.27	Pengujian formasi <i>leader-follower</i> ketika mencari sumber gas pada sudut 114°. ....	66

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kelebihan dan kekurangan dari variasi dasar PSO .....	12
Tabel 2.2 Konfigurasi pin pada modul Xbee .....	20
Tabel 2.3 Material sensor gas MQ-2.....	23
Tabel 2.4 Notasi dalam FLC .....	27
Tabel 4.1 Pengujian sensor gas terhadap jarak dari sumber gas.....	47
Tabel 4.2 Hasil pengujian sensor jarak .....	49
Tabel 4.3 Pengujian jarak menggunakan nilai RSSI.....	52
Tabel 4.4 Hasil pengujian metode FLC dengan sumber gas pada sudut 45°. .....	55
Tabel 4.5 Hasil pengujian metode FLC dengan sumber gas pada sudut 125°. .....	55
Tabel 4.6 Jarak antar robot selama formasi huruf V terbentuk dengan Robot 2 sebagai <i>leader</i> ketika mencari sumber gas .....	60
Tabel 4.7 Jarak antar robot selama formasi huruf V terbentuk dengan Robot 3 sebagai <i>leader</i> . .....	60
Tabel 4.8 Pengujian formasi <i>leader-follower</i> dengan sumber gas berada pada sudut 90°.....	64
Tabel 4.9 Pengujian formasi <i>leader-follower</i> dengan sumber gas berada pada sudut 114°.....	65
Tabel 4.10 Pengujian <i>mobile robot</i> dengan sumber gas berada pada sudut 90° ....	65
Tabel 4.11 Pengujian <i>mobile robot</i> dengan sumber gas berada pada sudut 114° ..	66

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam kasus penyelesaian masalah, sekelompok individu memiliki kemampuan untuk menyelesaikan banyak masalah kompleks dengan mudah sementara satu individu dari spesies yang sama tidak dapat melakukannya. Dengan berkoloni, informasi yang sedikit dapat menuntun koloni ke sasaran dengan efisiensi, waktu dan akurasi yang lebih baik di bandingkan dengan hanya satu individu saja [1]. Prilaku kerjasama individu dalam koloni tersebut dapat diterapkan dalam koloni *mobile robot*.

Penggunaan *mobile robot* digunakan untuk mempermudah pekerjaan manusia seperti melakukan pemetaan ruangan, memindahkan barang, melakukan pencarian dan lain sebagainya. *Mobile robot* juga dapat digunakan pada lingkungan yang berbahaya seperti pada lingkungan tempat terjadinya kebocoran gas atau tempat dengan radiasi yang tinggi. Sehingga akan berbahaya jika dilakukan oleh manusia.

Karakteristik dari sumber kebocoran gas yaitu arah dari aroma gas yang bocor tidak tetap dan mudah berubah arah. Oleh karena itu, apabila menggunakan satu *mobile robot* maka akan mudah kehilangan arah aroma dari sumber gas. Kehilangan arah aroma gas mengakibatkan waktu yang dibutuhkan untuk mencari sumber gas akan semakin lama. Untuk menemukan sumber gas dengan cepat, digunakan lebih dari satu *mobile robot*. Kelompok *mobile robot* akan membentuk formasi huruf V sehingga ketika terjadi perubahan arah aroma gas maka kelompok *mobile robot* dapat mengikuti perubahan arah aroma gas tersebut dengan membandingkan tegangan keluaran sensor gas dari masing masing robot. Jika terjadi perubahan arah aroma dari sumber gas maka *mobile robot* akan melakukan perubahan formasi mengikuti arah aroma gas.

Ketika mencari sumber kebocoran gas, ada tiga tantangan yang harus dihadapi. Pertama, ruang pencarian yang luas sehingga membuat proses pencarian sumber gas menjadi lebih lama. Kedua, dibutuhkan tingkat kecerdasan buatan dari *mobile robot* sehingga proses pencarian sumber gas menjadi lebih optimal [2]. Ketiga, dibutuhkan multi *mobile robot* yang dapat melakukan kerja sama untuk menemukan sumber gas.

Ada beberapa keuntungan jika menggunakan multi *mobile robot* yaitu dapat menemukan sumber gas lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan satu robot, jangkauan dinamis dari *mobile robot* menjadi semakin luas dan kelompok *mobile robot* dapat melakukan kerja sama dalam mencari sumber gas. Kelompok *mobile robot* melakukan kerjasama dengan menentukan pemimpin dari kelompok *mobile robot*. Syarat menjadi pemimpin kelompok *mobile robot* yaitu memiliki nilai tegangan keluaran sensor gas yang paling besar. Setelah menentukan pemimpin kelompok maka kelompok *mobile robot* akan membentuk formasi huruf V dengan pemimpin kelompok berada paling depan. Algoritma kerja sama dalam kelompok *mobile robot* menggunakan algoritma *swarm intelligence*. Salah satu konsep *swarm intelligence* adalah PSO. Selain itu, untuk kemudi *mobile robot* menuju sumber gas menggunakan metode FLC.

PSO di definisikan sebagai algoritma berbasis populasi yang memiliki karakteristik dari satu set solusi kandidat, di mana setiap solusi adalah "individu" yang bergerak di ruang pencarian [2]. Dalam algoritma PSO, masing-masing individu dalam *swarm* dapat mewakili solusi potensial [3-5]. *Mobile robot* yang menggunakan algoritma *swarm* dapat belajar dari pengalaman robot lain dan pengalaman pribadi [3]. Masing-masing individu dapat menyesuaikan pola pencariannya. Arah pencarian oleh individu dapat diatur sesuai dengan nilai tegangan keluaran sensor gas dan kecepatan dari *mobile robot* [3].

Pada penelitian sebelumnya, untuk membuat formasi *leader* dengan menggunakan *multi-mobile robot* menggunakan simulasi komputer [3]. Selain itu, terdapat juga penelitian tentang rekonfigurasi formasi yang optimal menggunakan kamera [6], tetapi dalam merealisasikan *mobile robot* tersebut dibutuhkan biaya

yang relatif mahal. Pada penelitian ini, dibuat multi *mobile robot* dengan menerapkan formasi *leader-follower* untuk mencari sumber kebocoran gas, dengan biaya yang relatif murah.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara *multi-mobile robot* mencari sumber gas.
2. Bagaimana menentukan konfigurasi formasi *leader-follower* dan waktu yang di butuhkan untuk membentuk formasi *leader-follower* pada multi *mobile robot*.
3. Bagaimana menentukan jarak masing-masing robot yang sesuai ketika melakukan formasi.

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang *multi-mobile robot* yang dapat membentuk formasi *leader-follower* ketika mencari sumber gas.
2. Dapat mengimplementasikan algoritma PSO dan metode FLC yang dapat membantu *mobile robot* dalam mengambil keputusan ketika mencari sumber gas.
3. Dapat melakukan komunikasi antara robot dengan saling bertukar informasi terhadap lingkungan sekitar.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Jumlah *mobile robot* adalah tiga unit *mobile robot*.
2. Formasi multi *mobile robot* berbentuk huruf V
3. Tidak ada penghalang robot (*obstacle*).

## 1.5 Kontribusi

Kontribusi yang dihasilkan dalam dari penelitian ini berupa :

1. Telah dikembangkan *multi-mobile robot* yang dapat membentuk formasi yang efektif ketika mencari sumber gas karena peneliti sebelumnya lebih banyak dilakukan dalam bentuk simulasi komputer seperti yang dilakukan oleh Miraswan dan Maulidevi [2]. Terdapat juga penelitian yang sudah diterapkan dalam bentuk *mobile robot* menggunakan beberapa kamera yang terpasang di berbagai sudut ruangan tetapi dalam penerapannya membutuhkan biaya yang relatif mahal seperti yang dilakukan oleh Kamel, Yu, dan Zhang [6].
2. Dapat membuat algoritma yang efektif dengan menerapkan algoritma PSO dan FLC ketika mencari sumber gas.



## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Penelitian Terkait**

PSO dan FLC untuk mendeteksi kebocoran gas menggunakan *mobile robot* pernah dilakukan penelitian oleh Miraswan dan Maulidevi dalam bentuk simulasi komputer dengan hasil yaitu kontrol PSO-FLC pada *mobile robot* memiliki performa lebih baik dibandingkan dengan pergerakan *mobile robot* tanpa menggunakan kontrol PSO-FLC [2]. Selain itu, terdapat juga penelitian tentang *real-time* rekonfigurasi formasi yang optimal untuk *mobile robot* berbasis PSO oleh Kamel, Yu, dan Zhang, untuk meminimalkan waktu dalam mencapai rekonfigurasi formasi yang di inginkan dengan batasan dinamika robot dan menghindari tabrakan [6]. Terdapat juga penelitian tentang sistem formasi *leader-follower multi robot* menggunakan metode *model predictive control* berbasis PSO dalam bentuk simulasi komputer dengan metode *separation-bearing orientation scheme* (SBOS) untuk memisahkan pemimpin dan pengikut dari mobile robot oleh Xiao, dan Chen [3].

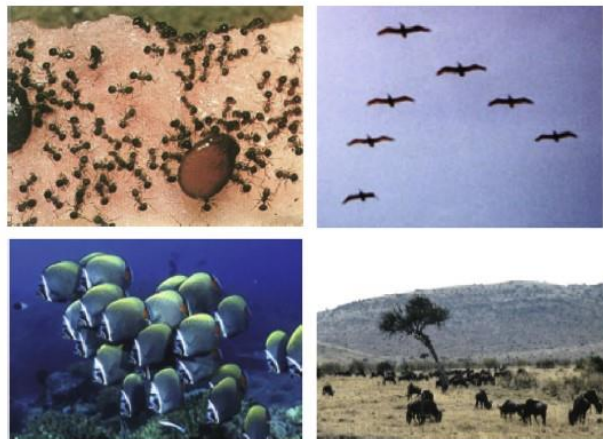
#### **2.2 Sistem Formasi *Leader-Follower Multi Mobile Robot***

Dalam banyak kasus, sekelompok individu memiliki kemampuan untuk memecahkan banyak masalah kompleks dengan mudah sementara satu individu dari spesies yang sama tidak dapat melakukannya. Dengan berkelompok, minoritas informasi dapat membimbing sekelompok individu ke tujuan dengan efisiensi waktu dan akurasi yang lebih baik di bandingkan dengan hanya satu individu saja [1].

Pada zaman dahulu, manusia telah memanfaatkan kemampuan burung untuk mencari lokasi rumah dengan tepat dari jarak lebih dari 5000 km. Burung-burung berkumpul dalam formasi khusus selama migrasi dan menemukan tujuan dengan bantuan berbagai indera termasuk kompas matahari, perhitungan waktu, medan magnet, pengindraan secara visual serta isyarat penciuman [1].

*Swarm intelligence* telah banyak menarik perhatian peneliti sejak konsep tersebut diajukan pada tahun 1980-an. Sekarang telah menjadi fokus dari banyak disiplin ilmu termasuk kecerdasan buatan, ekonomi, sosiologi, biologi, dan lain-lain. Telah diamati bahwa beberapa spesies bertahan dari pemangsa dengan mengambil keuntungan dari kekuatan kawanan, bukan dari kekuatan individu. Individu dalam kawanan tidak begitu cerdas, namun mereka menyelesaikan tugas kompleks melalui kerja sama dan menunjukkan kecerdasan tinggi sebagai sekelompok kawanan yang sangat mandiri dan dapat menyesuaikan diri [1]. Contoh kerjasama yang ada di alam dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1.

*Swarm intelligence* adalah suatu kelompok yang mensimulasikan struktur sosial dan interaksi kawanan dalam kecerdasan buatan tradisional. Individu dapat dianggap sebagai agen dengan kemampuan sederhana dan tunggal. Beberapa dari mereka memiliki kemampuan untuk berevolusi ketika berhadapan dengan masalah tertentu untuk membuat kompatibilitas yang lebih baik. *Swarm intelligence system* biasanya terdiri dari sekelompok individu sederhana yang dikendalikan secara otonom oleh sebuah aturan dan interaksi lokal. Beberapa perilaku cerdas yang tidak pernah diamati dalam satu individu akan segera muncul ketika beberapa individu mulai bekerja sama. Kawanan dapat menyelesaikan tugas yang dapat dilakukan individu yang kompleks dengan memiliki ketahanan dan fleksibilitas yang tinggi dan biaya yang rendah [1].



Gambar 2.1 *Biological swarms* di alam [1]

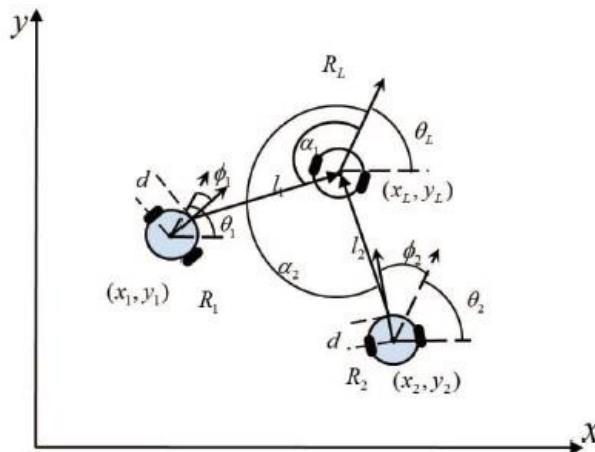
Pada bagian formasi, tujuan pengendalian adalah untuk menjaga hubungan yang diinginkan antara robot dan pemimpin. Pada Gambar 2.2, robot RL dianggap sebagai pemimpin dan dua robot lainnya, R1 dan R2 adalah pengikut. Hubungan yang harus dikendalikan antara pemimpin RL dan pengikutnya di lambangkan sebagai pemisahan  $l_i$ , orientasi  $\alpha_i$  relatif dan orientasi relatif  $\phi_i$ . Hubungan tersebut diterapkan sebagai keadaan sistem formasi [3].

$$\begin{aligned} \dot{l}_i &= v_i \cos \beta_i + d\omega \sin \beta_i - v_L \cos \alpha_i \\ \dot{\alpha}_i &= -\frac{v_i \cos \beta_i}{l_i} + \frac{d\omega_i \sin \beta_i}{l_i} + \frac{v_L \sin \alpha_i}{l_i} - \omega_L \\ \dot{\phi}_i &= \omega_L - \omega_i \end{aligned} \quad (2.1)$$

Dengan  $\beta_i = \phi_i + \alpha_i$

Dari Persamaan 2.1, dapat di transformasikan lebih lanjut seperti berikut :

$$\begin{bmatrix} \dot{l}_i \\ \dot{\alpha}_i \\ \dot{\phi}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -v_L \cos \alpha_i \\ \frac{v_L \sin \alpha_i}{l_i} - \omega_L \\ \omega_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \beta_i & d \sin \beta_i \\ -\sin \beta_i & \frac{d \cos \beta_i}{l_i} \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \omega_i \end{bmatrix} \quad (2.2)$$



Gambar 2.2 Model formasi dari tiga *mobile robot nonholonomic* [3].

### 2.3 Konsep *Particle Swarm Optimization* Pada *Mobile Robot*

PSO merupakan bagian dari *swarm intelligence* yang didefinisikan sebagai algoritma berbasis populasi yang memiliki karakteristik dari satu set solusi kandidat, dimana setiap solusi adalah individu yang bergerak di ruang pencarian. Diperkenalkan pertama kali oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995, dengan tujuan untuk mengenalkan metodologi baru dalam kecerdasan komputasi dengan teknik analogi sederhana dalam interaksi sosial. Setiap individu dapat menentukan pergerakan di ruang pencarian dengan mempertimbangkan beberapa aspek dari posisi terbaik sebelumnya dari satu atau beberapa anggota kawanan lainnya [2].

PSO didasarkan pada perilaku sekawanan burung, ikan atau semut. Algoritma PSO meniru perilaku sosial organisme ini. Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu lain dalam suatu kelompok. Setiap individu berperilaku dengan cara menggunakan kecerdasannya (*intelligence*) sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika satu individu atau seekor burung menemukan jalan yang tepat atau pendek menuju ke sumber makanan, sisa kelompok yang lain juga akan dapat segera mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka jauh di kelompok tersebut [5].

Setiap individu diasumsikan memiliki dua karakteristik yaitu posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang (*space*) tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Setiap individu menyampaikan informasi atau posisi terbaiknya kepada individu yang lain dan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi tersebut. Sebagai contoh, misalnya perilaku burung-burung dalam kawanan burung. Meskipun setiap burung mempunyai keterbatasan dalam hal kecerdasan, biasanya ia akan mengikuti kebiasaan (*rule*) seperti berikut [5]:

1. Seekor burung tidak berada terlalu dekat dengan burung yang lain.
2. Burung tersebut akan mengarahkan terbangnya ke arah rata-rata keseluruhan burung.

3. Akan memposisikan diri dengan rata-rata posisi burung yang lain dengan menjaga jarak sehingga jarak antar burung dalam kawanan itu tidak terlalu jauh.

Dengan demikian perilaku kawanan burung akan didasarkan pada kombinasi dari tiga faktor simpel berikut:

1. Kohesi yaitu terbang bersama
2. Separasi yaitu jangan terlalu dekat
3. Penyesuaian (*alignment*) yaitu mengikuti arah bersama

Jadi PSO dikembangkan berdasarkan pada model berikut:

1. Ketika seekor burung mendekati target atau makanan (*maximum* suatu fungsi tujuan) secara cepat mengirim informasi kepada burung-burung yang lain dalam kawanan tertentu.
2. Burung yang lain akan mengikuti arah menuju ke makanan tetapi tidak secara langsung.
3. Ada komponen yang tergantung pada pikiran setiap burung yaitu memorinya tentang apa yang sudah dilewati pada waktu sebelumnya.

Pada algoritma PSO, pencarian solusi dilakukan oleh suatu populasi yang terdiri dari beberapa individu. Populasi dibangkitkan secara acak dengan batasan nilai terkecil dan terbesar. Setiap partikel melakukan pencarian solusi yang optimal dengan melintasi ruang pencarian (*search space*). Hal ini dilakukan dengan cara setiap individu melakukan penyesuaian terhadap posisi terbaik dari individu tersebut (*local best*) dan penyesuaian terhadap posisi individu terbaik dari seluruh kawanan (*global best*) selama melintasi ruang pencarian. Jadi, penyebaran pengalaman atau informasi terjadi di dalam individu itu sendiri dan antara satu individu dengan individu terbaik dari seluruh kawanan selama proses pencarian solusi. Setelah itu, dilakukan proses pencarian untuk mencari posisi terbaik setiap individu dalam sejumlah iterasi tertentu sampai didapatkan posisi yang relatif stabil atau mencapai batas iterasi yang telah ditetapkan. Pada setiap iterasi, setiap solusi yang direpresentasikan oleh posisi individu, dievaluasi performansinya dengan cara memasukkan solusi tersebut kedalam *fitness function* [5].

Dalam algoritma PSO, masing-masing individu dalam *swarm* mewakili solusi potensial [3-5]. Dua fitur yang terdapat dalam algoritma PSO yaitu posisi dan kecepatan yang digunakan untuk mewakili karakteristik dari partikel [7]. Berikut ini merupakan formulasi matematika yang menggambarkan posisi dan kecepatan partikel pada suatu dimensi ruang tertentu.

$$X_i(t) = x_{i1}(t), x_{i2}(t), \dots, x_{iN}(t) \quad (2.3)$$

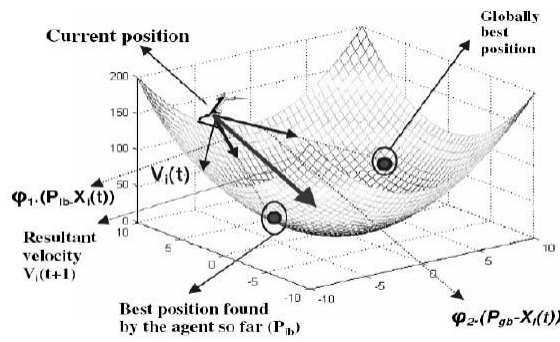
$$V_i(t) = v_{i1}(t), v_{i2}(t), \dots, v_{iN}(t) \quad (2.4)$$

Dimana X merupakan posisi partikel, V merupakan kecepatan partikel, i merupakan indeks partikel, t merupakan iterasi ke-t, dan N merupakan ukuran dimensi ruang. Pada Persamaan (2,3) merepresentasikan *local best* dari partikel ke-i, sedangkan Persamaan (2,4) merepresentasikan *global best* dari seluruh kawan. Berikut ini merupakan model matematika yang menggambarkan mekanisme *updating status* partikel Kennedy and Eberhart (1995):

$$v_i(t) = V_i(t - 1) + c_1 r_1 (X_i^L - X_i(t - 1)) + c_2 r_2 (X^G - X_i(t - 1)) \quad (2.5)$$

$$X_i(t) = V_i(t) + X_i(t - 1) \quad (2.6)$$

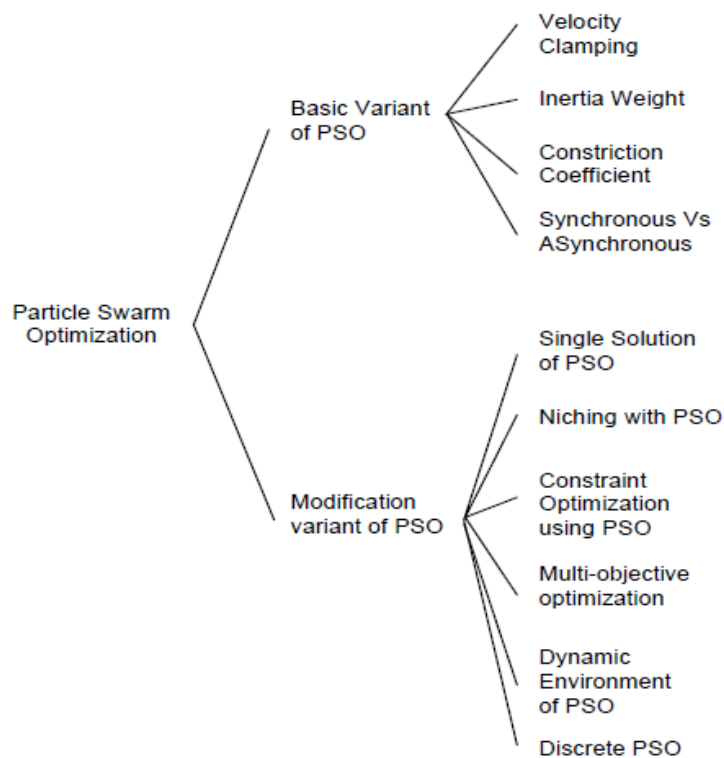
$c_1$  dan  $c_2$  adalah suatu konstanta yang bernilai positif yang biasanya disebut sebagai *learning factor*. Kemudian  $r_1$  dan  $r_2$  adalah suatu bilangan random yang bernilai antara 0 sampai 1. Persamaan (2,5) digunakan untuk menghitung kecepatan partikel yang baru berdasarkan kecepatan sebelumnya, jarak antara posisi saat ini dengan posisi terbaik partikel (*local best*), dan jarak antara posisi saat ini dengan posisi terbaik kawan (*global best*). Kemudian partikel terbang menuju posisi yang baru berdasarkan persamaan (2,6). Setelah algoritma PSO ini dijalankan dengan sejumlah iterasi tertentu hingga mencapai kriteria pemberhentian, maka akan didapatkan solusi yang terletak pada *global best* [5]. Ilustrasi dari algoritma PSO pada *mobile robot* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ilustrasi algoritma PSO pada *mobile robot*.

### 2.3.1 Variasi dari *Particle Swarm Optimization*

Sejak pertama kali dikembangkan pada tahun 1995 oleh Eberhart dan Kennedy dengan didasarkan pada perilaku sosial burung yang berkelompok atau ikan. Baru-baru ini, ada banyak varian PSO yang mulai dikembangkan, dan tidak menutup kemungkinan akan terus tumbuh dengan cepat. Gambar 2.4 menjelaskan variasi dari segerombolan PSO [8].



Gambar 2.4 Variasi dari PSO [8].

Tabel 2.1 Kelebihan dan kekurangan dari variasi dasar PSO [8].

Variasi Dasar	Fungsi	Kelebihan	Kekurangan
Velocity Clamping	Kontrol eksplorasi global partikel yaitu mengurangi kecepatan langkah, sehingga partikel tetap berada di area pencarian, tetapi tidak dapat mengubah arah pencarian partikel	VC mengurangi kecepatan langkah sehingga akan mengontrol pergerakan partikel	Jika semua kecepatan menjadi sama dengan $V_{MAX}$ , partikel akan terus melakukan pencarian di dalam hypercube dan tidak akan bertemu di area lokal
Inertia Weight	Mengontrol momentum partikel dengan mempertimbangkan kecepatan sebelumnya	Bobot inersia yang lebih besar di akhir pencarian akan menumbuhkan kemampuan konvergensi.	Untuk mencapai konvergensi yang optimal sangat dipengaruhi oleh bobot inersia
Constriction Coefficient	Untuk memastikan konvergensi yang stabil dari algoritma PSO	Sama seperti Inertia Weight	ketika algoritma sudah konvergen, nilai-nilai tetap dari parameter dapat menyebabkan fluktuasi partikel yang tidak perlu
Synchronous and Asynchronous Updates	Optimalisasi dalam pemrosesan paralel	Dapat meningkatkan konvergensi	Mesh densities

Setiap variasi dasar PSO memiliki memiliki kekurangan. Pada Tabel 2.1 menunjukkan kelebihan dan kekurangan yang dimiliki oleh variasi dasar PSO [8]. Modifikasi variasi PSO dapat meningkatkan kinerja *Particle Swarm Optimization*. Eksplorasi adalah kemampuan algoritma pencarian untuk menjelajahi berbagai wilayah ruang pencarian untuk menemukan lokasi yang optimal [8]. Eksploitasi,



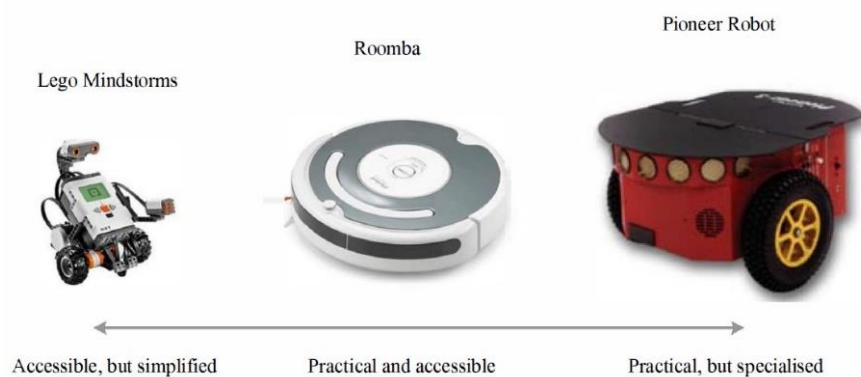
di sisi lain, adalah kemampuan untuk memusatkan pencarian di sekitar area yang menjanjikan untuk menyempurnakan solusi kandidat [8]. Dengan eksplorasi dan eksploitasi mereka, PSO melalui *hyperspace* dan memiliki dua kemampuan penalaran penting: ingatan mereka tentang posisi terbaik mereka sendiri *local best* (lBest) dan pengetahuan tentang global atau yang terbaik dari lingkungan mereka *global best* (gBest) [5][8]. Posisi partikel dipengaruhi oleh kecepatan. Modifikasi variasi PSO seperti berikut [9]:

- 1) *Binary* PSO (BPSO): BPSO berbeda dari PSO dalam ruang pencarian. Dalam PSO, bergerak di ruang pencarian menyebabkan perubahan nilai koordinat posisi dalam satu atau lebih dimensi yang ada. Tetapi dalam BPSO bergerak di ruang pencarian berarti perubahan nilai koordinat posisi adalah nol atau satu.
- 2) *Constrained optimization* via PSO (COPSO): Algoritma COPSO diterapkan untuk masalah objektif tunggal terbatas. Teknik sederhana yang digunakan untuk menyelidiki kendala yang terjadi.
- 3) *Evolutionary Programming* dan PSO (EPPSO): Algoritma ini merupakan kombinasi dari PSO dan EP Ini membantu meningkatkan kemampuan PSO dalam membuat keseimbangan antara pencarian lokal dan global untuk konvergensi yang lebih cepat dari algoritma EP. EP tidak memiliki keanekaragaman di antara partikel dengan mutasi antar unsur.
- 4) *Genetic binary* PSO model (GBPSO): Algoritma ini dikembangkan untuk meningkatkan kondisi dinamis pada swarm.
- 5) *Self-organisation* PSO (SOPSO): Dalam algoritma ini, selain informasi partikel dan informasi kelompok, agen umpan balik digunakan untuk meningkatkan kinerja partikel.
- 6) *Dynamic multi-swarm* PSO: DMS-PSO ditandai dengan ukuran kelompok yang kecil dan topologi kelompok yang berubah secara dinamis.
- 7) *Adaptive* PSO (APSO): Algoritma secara adaptif menggantikan partikel tidak aktif saat ini (yaitu mereka tidak memiliki kemampuan pencarian lokal dan global dan tidak banyak mengubah posisi mereka, sehingga kecepatan mereka hampir mencapai nol).

- 8) SCPSO: Ini mengadopsi teknik konservasi spesies dan menggunakan *the seeds of the species* untuk menentukan posisi lokal terbaik untuk pembaruan kecepatan. Ini mencegah konvergensi prematur.
- 9) PSO dengan ekstensi area (AEPSON): Algoritma ini dirancang untuk pergerakan beberapa robot di suatu area. Sebenarnya ada beberapa hal yang berkaitan dengan peningkatan informasi dari area yang luas.
- 10) *Comprehensive learning* PSO (CLPSO): Partikel-partikel diizinkan untuk belajar dari berbagai posisi local best pada dimensi yang berbeda. Ini menentukan beberapa solusi optimal di ruang pencarian secara bersamaan.

## 2.4 Mobile Robot

*Mobile robot* sering digunakan dalam penelitian ilmiah [7]. *Mobile robot* adalah robot yang dapat melakukan mobilitas yang umumnya dengan menggunakan roda. Penelitian tentang *mobile robot* dilakukan pada pengembangan sistem navigasi dari robot. Ada beberapa *platform mobile robot* yang di produksi secara komersial yaitu Lego Mainstroms, Pioneer Robot, dan Platform Roomba [7], seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5. *Platform* Lego Mainstroms merupakan *platform* yang sangat disederhanakan, namun tidak dapat secara langsung di aplikasi di dunia nyata [7]. Sedangkan *Platform* Pioneer Robot dan *platform* robot Roomba dapat digunakan untuk berbagai aplikasi dalam kehidupan sehari hari.

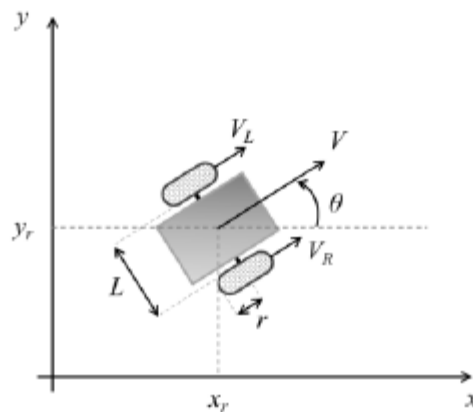


Gambar 2.5 *Platform* robot komersial [7]

Pada penelitian ini, *mobile robot* digunakan untuk mencari sumber kebocoran gas. *Mobile robot* di lengkapi dengan mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pusat kendali dari robot dan sensor jarak seperti sensor ultrasonik. Untuk transmisi data dan melakukan komunikasi antar robot digunakan modul Xbee dengan frekuensi 2,4 GHz. Selain untuk transmisi data, modul Xbee juga digunakan untuk mengetahui jarak dari masing-masing robot dengan membaca nilai RSSI pada saat melakukan komunikasi dengan robot lainnya. *Mobile robot* juga dilengkapi dengan sensor gas MQ-2 yang digunakan untuk mendeteksi gas yang ada di lingkungan sekitar robot. Untuk melakukan perpindahan *mobile robot* digunakan motor DC.

#### 2.4.1 Model Kinematik Dari *Mobile Robot*.

Untuk mencapai tujuan dengan jarak tertentu dari *mobile robot* maka dibutuhkan pengontrolan kemudi dari sebuah *mobile robot* ketika melakukan pergerakan. Sebelum melakukan pengontrolan, perlu di tentukan model kinematik dari *mobile robot* [10]. Model kinematik yang umum digunakan dalam kemudi *mobile robot* yaitu *differential drive mobile robot*. Pada gambar 2.6 dapat di tunjukan variabel-variabel yang digunakan dalam model kinematik *mobile robot* seperti berikut [10]:



Gambar 2.6 Modek kinematik dari *mobile robot* [10].

Keterangan :

ICC : *Instantaneous Center of Curvature*

R : Radius dari *Instantaneous Center of Curvature* (ICC) ke titik tengah di antara kedua roda robot.

L : Jarak di antara roda kanan dan roda kiri dari *mobile robot*

$V_r(t)$  : Kecepatan linier dari roda kanan *mobile robot*

$V_l(t)$  : Kecepatan linier dari roda kiri *mobile robot*

V : Kecepatan *mobile robot*

$\omega_r$  : Kecepatan sudut dari roda kanan

$\omega_l$  : Kecepatan sudut dari roda kiri

$\omega$  : Kecepatan sudut robot

Kecepatan dari roda kanan dan roda kiri dapat ditunjukkan pada persamaan 2.7, kecepatan sudut dari *mobile robot* di tunjukan pada persamaan 2.8 dan kecepatan dari *mobile robot* dapat di tunjukan pada persamaan 2.9 [10].

$$V_R = r\omega_R, V_L = r\omega_L \quad (2.7)$$

$$\omega = \frac{V_R - V_L}{L} \quad (2.8)$$

$$V = \frac{V_R + V_L}{2} \quad (2.9)$$

Dengan mengkombinasikan persamaan 2.7 dengan persamaan 2.8 dan persamaan 2.9 maka di dapatkan kecepatan sudut dan kecepatan robot seperti berikut [10].

$$\omega = \frac{r}{L}(\omega_R - \omega_L) \quad (2.11)$$

$$V = \frac{r}{2}(\omega_R + \omega_L) \quad (2.12)$$

Sehingga di dapatkan kecepatan sudut dari roda kanan dan roda kiri seperti berikut [10].

$$\omega_R = \frac{1}{r}V + \frac{L}{2r}\omega \quad (2.13)$$

$$\omega_R = \frac{1}{r}V - \frac{L}{2r}\omega \quad (2.14)$$

Jadi model kinematik dari *mobile robot* yaitu sebagai berikut [10].

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ \omega \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V\cos\theta & 0 \\ V\sin\theta & 0 \\ 0 & \omega \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r(\omega_R + \omega_L) \cos\theta/2 & 0 \\ r(\omega_R + \omega_L) \sin\theta/2 & 0 \\ 0 & \omega \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Sehingga dari persamaan 2.15 berikut di dapatkan posisi  $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$  dan sudut  $\dot{\theta}$  dalam sumbu kartesian [10].

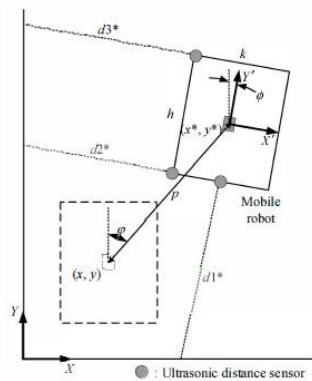
## 2.5 Pengukuran Jarak Menggunakan Sensor Ultrasonik Pada *Mobile Robot*

Pada penelitian ini, sensor ultrasonik berfungsi untuk mengetahui jarak antar robot, menghindari tabrakan antara robot dengan benda di lingkungan dan dengan robot lainnya. Beberapa sensor ultrasonik yang terpasang pada robot berfungsi untuk mendapatkan informasi jarak sehingga *mobile robot* dapat menentukan posisi dan orientasi *mobile robot* di ruang kerjanya [11].

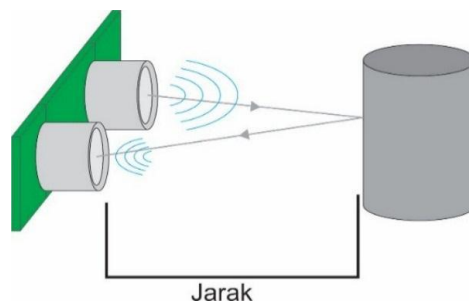
$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{d3^* - d2^*}{h} \right) \quad (2.16)$$

$$x^* = \frac{1}{2}(d2^* + d3^* + k) \cos \phi, \quad y^* = \frac{1}{2}(d1^* + h/2) \cos \phi \quad (2.17)$$

Pada Persamaan 2.16 dan persamaan 2.17, robot dinyatakan panjangnya  $h$  dan lebarnya  $k$ . jika jarak dari sensor ke dinding adalah  $d1^*$ ,  $d2^*$ ,  $d3^*$ , orientasi dan posisi dari *mobile robot* yaitu  $(x^*, y^*, \phi)$  [11]. Gambar robot dalam kordinat kartesian adalah seperti berikut :



Gambar 2.7 Situasi pengukuran jarak menggunakan sensor ultrasonik [11]



Gambar 2.8 Ilustrasi cara kerja sensor ultrasonik [12].

Sensor ultrasonik menggunakan prinsip kerja layaknya suatu perangkat sonar yaitu dengan memanfaatkan pantulan gelombang ultrasonik dan mengukur waktu penerimaan pantulannya maka didapatkan nilai jarak antara sensor dengan objek yang ingin diukur jaraknya. Frekuensi ultrasonik yang dipakai sensor sebesar 40 kHz [12].

Bagian utama dari sensor ultrasonik adalah transduser ultrasonik berjumlah dua buah yang memiliki fungsi berbeda namun saling berkaitan. Fungsi dari masing-masing transduser ultrasonik itu adalah untuk menghasilkan gelombang ultrasonik dan menerima gelombang ultrasonik [12]. Ilustrasi cara kerja sensor ultrasonik dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Cara kerja dari sensor ultrasonik adalah sebagai berikut:

1. Bagian penghasil sinyal ultrasonik dari modul sensor ultrasonik ini terhubung dengan pin *trigger*. Pada pin *trigger* tersebut, apabila diberikan sinyal dengan lebar pulsa sebesar 10 us, maka akan menghasilkan sinyal

*burst* pada salah satu transduser ultrasonik dan dihasilkan 8 pulsa sinyal gelombang ultrasonik.

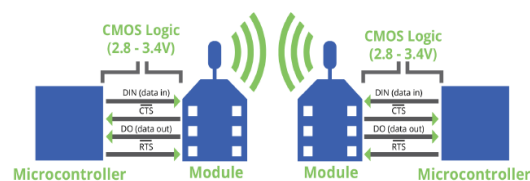
2. Gelombang ultrasonik yang dihasilkan tersebut kemudian akan dipantulkan oleh objek yang berada di depan perangkat modul sensor ultrasonik tersebut dan akan diterima kembali oleh bagian transduser penerima.
3. Bagian penerima pantulan gelombang ultrasonik tersebut terhubung pada pin *echo* yang akan bernilai *high* begitu gelombang ultrasonik dipancarkan, dan akan bernilai *low* begitu menerima pantulan gelombang ultrasonik.

Dengan mengukur lebar pulsa dari pin *echo* tersebut, maka dapat diketahui lebar jarak ukur dengan membandingkan waktu periode dari lebar sinyal pulsa *echo* tersebut terhadap cepat rambat gelombang ultrasonik. Perhitungan lebar jarak ukur dilakukan dengan menggunakan rumus :  $X(\text{cm}) = T(\text{ms}) / 58$ .

## 2.6 Modul Xbee

Modul Xbee adalah nama yang diberikan Digi ke modul radio fisik dan mengacu pada faktor bentuk. Beberapa modul radio juga ditawarkan dalam varian XBee-PRO untuk rentang yang diperluas. Modul radio XBee dan XBee-PRO ZB dirancang khusus untuk berkomunikasi sesuai dengan protokol Zigbee.

Zigbee adalah protokol Radio Frequency (RF) yang dimiliki oleh Zigbee Alliance. Zigbee dikembangkan dengan standar IEEE 802.15.4. Zigbee menyediakan fungsi *routing* dan *multi-hop* ke protokol radio berbasis paket. Zigbee memiliki jangkauan maksimal 100 meter. Spesifikasi IEEE 802.15.4 merupakan dasar dari ZigBee untuk lapisan bawah MAC dan PHY serta menentukan standar radio 2,4 GHz yang digunakan dunia.



Gambar 2.9 komunikasi serial dari modul Xbee

Tabel 2.2 Konfigurasi pin pada modul Xbee

Pin	Name	Direction	Default State	Description
1	Vcc	-	-	Power supply
2	Dout	Output	Output	UART data out
3	Din	Input	Input	UART data in
4	Dio12	Both	Disabled	Digital IO
5	Reset	Both	Open-collector with pull-up	Modul reset
6	Rssi PWM	Both	Output	RSSI
7	Dio11	Both	Input	Digital IO
8	reserved	-	Disabled	Do not connect
9	Dio8	Both	Input	Pin sleep control
10	Gnd	-	-	Ground
11	Dio4	Both	Disabled	Digital IO 4
12	Dio7	Both	Output	Clear to send flow control
13	On	Output	Output	Modul status indicator
14	Vref	Input	-	Not used for em250
15	Dio5	Both	Output	Associated indicator
16	Dio6	Both	Input	Reset to send flow control
17	Ad3/dio3	Both	Disabled	Analog input 3
18	Ad2/dio2	Both	Disabled	Analog input 2
19	Ad1/dio1	Both	Disabled	Analog input 1
20	Ad0/dio0	Both	Disabled	Analog input 0

### 2.6.1 Received Signal Strength Indication (RSSI)

Persamaan 2.17 adalah model *shadowing* yang banyak digunakan dalam transmisi sinyal nirkabel [13].

$$\left[ \overline{P_r(d)} \right]_{dBm} = [P_r(d_0)]_{dBm} - 10n \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + X_{dBm} \quad (2.17)$$

Keterangan,  $d$  adalah jarak dari pemancar ke penerima dengan satuan dalam meter,  $d_0$  jarak referensi yang dapat bernilai 1 meter,  $\overline{P_r(d)}$  adalah kekuatan sinyal yang diterima oleh penerima (dBm),  $X_{dBm}$  adalah variabel acak Gaussian yang nilai rata-ratanya adalah 0, nilai ini menggambarkan perubahan kekuatan sinyal yang diterima pada jarak tertentu,  $n$  adalah indeks *path loss* [13].

Sehingga diperoleh persamaan model *shadowing* yang disederhanakan yang ditunjukkan pada persamaan 2.18 [13].



$$[\overline{P_r(d)}]_{dBm} = [P_r(d_0)]_{dBm} - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2.18)$$

Dengan  $d_0 = 1m$ , sehingga diperoleh persamaan pengukuran jarak berdasarkan pada nilai RSSI yang digunakan dalam praktek ditunjukkan dalam persamaan dibawah ini [13].

$$RSSI[dBm] = [P_r(d_0)]_{dBm} = A - 10n \log d \quad (2.19)$$

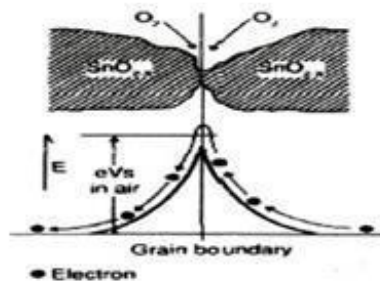
$$d = 10^{\left(\frac{A-RSSI}{10n}\right)} \quad (2.20)$$

Dengan A adalah kekuatan sinyal yang diterima dalam jarak 1m dengan satuan dBm [13].

Jadi setelah kita mengatasi pengaruh faktor lingkungan seperti difraksi, hambatan dan lain sebagainya yang berdampak pada transmisi sinyal nirkabel, maka RSSI dapat digunakan di lokalisasi *indoor* dan *outdoor* dan dapat melakukan pengukuran jarak [13].

## 2.7 Sensor Gas

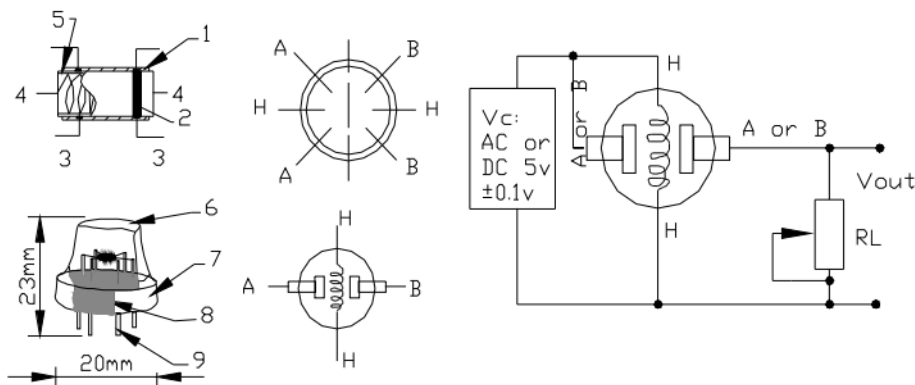
Sensor gas adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur senyawa gas polutan yang ada di udara seperti *karbon monoksida*, *hidrokarbon*, *nitrooksida*, dan lain-lain. Sensor gas semikonduktor memiliki banyak jenis, tentunya dibedakan oleh sensitivitas sensor tersebut. Prinsip kerja dari sensor ini semakin tinggi konsentrasi gas maka resistansinya semakin rendah. Sensor gas semikonduktor terbentuk pada permukaan luar kristal, tegangan permukaan yang terbentuk akan menghambat laju aliran elektron [12]. Penyerapan O<sub>2</sub> oleh sensor dapat ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Penyerapan O<sub>2</sub> oleh sensor gas [12].

Sensor gas dengan kode MQ-2, terdiri dari dua bagian, yaitu sensor elektrokimia dan sebuah pemanas (*internal heater*) didalamnya. Sensor ini dapat mendeteksi berbagai tipe gas, dan akan lebih sensitif untuk jenis gas tertentu. Semua sensor gas tipe ini harus dikalibrasi dengan mengukurnya pada udara atau gas yang telah diketahui konsentrasinya. Keluaran sensor ini berupa data analog yang dapat dibaca oleh pin-pin analog mikrokontroler [12].

Sensor gas MQ-2 merupakan sensor gas yang terbuat dari keramik mikro AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, *TinDioxide* (SnO<sub>2</sub>) yang sensitif, elektroda dan kepala sensornya terbuat dari plastic serta *stainless steel*. Kepala sensornya dapat bekerja dengan baik dan merupakan komponen yang sangat sensitif. Sensor ini mempunyai 6 pin, 3 pin untuk catu daya, 2 pin untuk keluaran sensor, 1 pin untuk penstabil *heater* [12]. Rangkaian sensor dapat kita lihat pada Gambar 2.11.



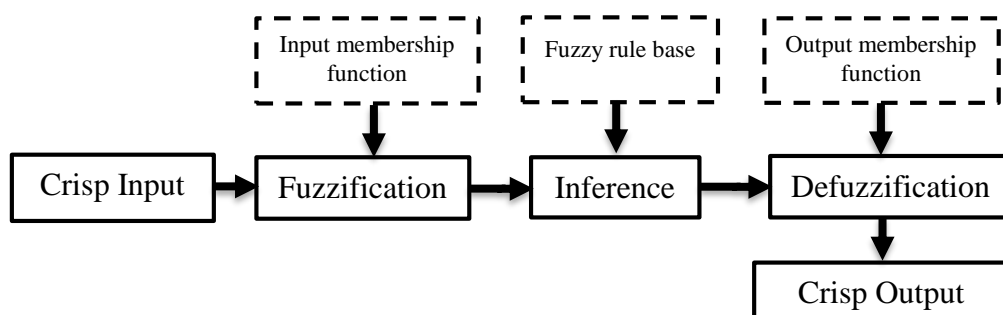
Gambar 2.11 Komponen dan rangkaian dasar sensor MQ-2 [12]

Tabel 2.3 Material sensor gas MQ-2.

	Parts	Materials
1	Gas sensing layer	SnO <sub>2</sub>
2	Electrode	Au
3	Electrode line	Pt
4	Heater coil	Ni-Cr alloy
5	Tubular ceramic	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
6	Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS216 100-mesh)
7	Clamp ring	Copper plating Ni
8	Resin base	Bakelite
9	Tube pin	Copper plating Ni

## 2.8 Konsep *Fuzzy Logic Control* Pada *Mobile Robot*

FLC terinspirasi oleh kemampuan manusia untuk bertindak berdasarkan informasi yang diperoleh dari pengalaman mereka [14]. Logika *fuzzy* bekerja berdasarkan peraturan linguistik dari penalaran dan pengambilan keputusan untuk informasi yang tidak pasti, ketidaktepatan, *noisy* dan lain sebagainya [14][15]. Pada dasarnya, terdapat beberapa aspek yang biasanya berada di luar model matematis dan bersifat *enexact* [16]. Konsep ketidakpastian inilah yang menjadi konsep dasar munculnya konsep logika *fuzzy* [16]. Pencetus gagasan logika *fuzzy* adalah Prof. L. A. Zadeh (1965) dari California University. Prinsip himpunan *fuzzy* adalah suatu perluasan himpunan *crisp* dimana himpunan membagi sekelompok individu kedalam dua kategori yaitu anggota dan bukan anggota [16]. Tahapan dalam logika *fuzzy* dibagi menjadi tiga tahap yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Diagram blok FLC seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Diagram blok *fuzzy logic control*

Nilai keanggotaan pada himpunan *crisp* memiliki dua kemungkinan yaitu 0 atau 1, sedangkan pada himpunan *fuzzy* nilai keanggotaan *fuzzy* nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1. Apabila  $x$  memiliki nilai keanggotaan *fuzzy*  $\mu_A[x]=0$  berarti  $x$  tidak menjadi himpunan  $A$ , demikian pula apabila  $x$  memiliki nilai keanggotaan *fuzzy*  $\mu_A[x]=1$  berarti  $x$  menjadi anggota penuh pada himpunan  $A$  [14]. Atribut himpunan *fuzzy* dibagi menjadi dua yaitu:

- 1) Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti MUDA, PAROBAYA, TUA.
- 2) Numeris yaitu nilai yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel seperti 10, 50, 100 dan sebagainya.

FLC dibagi menjadi tiga tahapan yaitu:

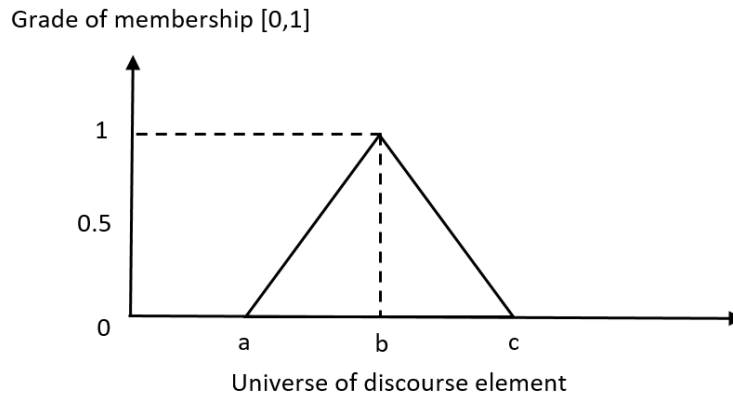
- 1) Fuzzifikasi : fuzzifikasi adalah proses untuk mengubah *crisp input* menjadi *fuzzy input* [14][15]. Fungsi keanggotaan adalah kurva yang digunakan untuk memetakan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaan yang memiliki interval antara 0 sampai 1 [16]. Pendekatan fungsi merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mendapat nilai keanggotaan [16]. Ada beberapa fungsi yang dapat digunakan yaitu:

- Representasi linier
- Reperensi kurva segitiga
- Representasi kurva trapesium
- Representasi kurva berbentuk bahu.

Contoh penggunaan Derajat keanggotaan yang dinyatakan dengan fungsi keanggotaan  $T$  (triangular). Derajat keanggotaan fungsi triangular di definisikan seperti berikut:

$$T(u, a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ \frac{c-u}{c-b} & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \quad (2.13)$$

Bentuk diagramatik fungsi triangular dapat ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Fungsi triangular diagramatik

Terdapat dua sensor gas yang akan menjadi masukan *fuzzy*. dua sensor tersebut akan dibagi menjadi dua yaitu sensor gas yang berada di kiri dan sensor gas yang berada di kanan yang digunakan untuk menentukan arah orientasi kiri atau kanan dari *mobile robot*.

- 2) Kesimpulan : sebelum mengambil kesimpulan atau keputusan, ada aturan *fuzzy* yang digunakan untuk mengendalikan sistem secara logis untuk berkorelasi antara variabel masukan dan keluaran dengan mengambil bentuk fungsi implikasi seperti berikut:

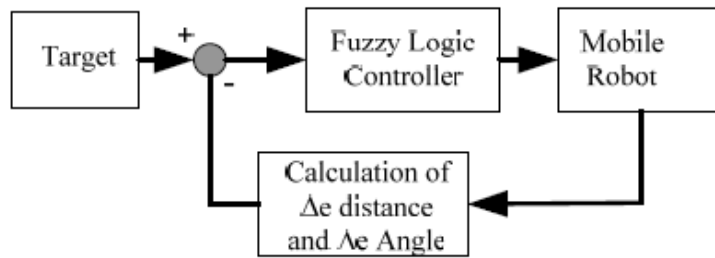
$$IF A \text{ is } x \text{ THEN } B \text{ is } y$$

Dengan A dan B adalah scalar dan x dan y adalah himpunan *fuzzy*. Pada fungsi impikasi tersebut *IF* berarti sebagai anteseden, sedangkan *THEN* merupakan sebagai konsekuen [14]. Keluaran dari blok kesimpulan adalah himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan berdasarkan metode pengambilan keputusan [14],[16].

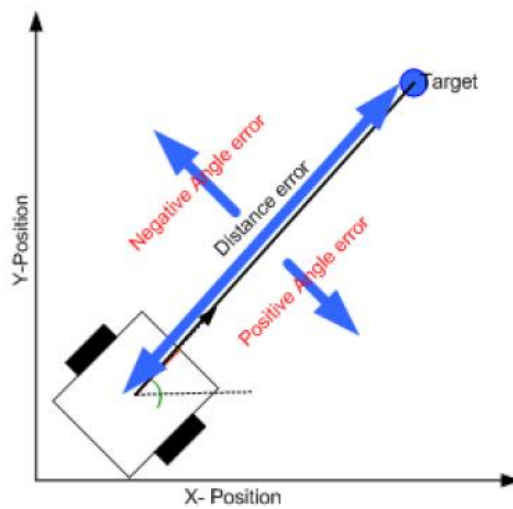
- 3) Defuzzifikasi : defuzzifikasi adalah proses untuk mengubah keluaran *fuzzy* menjadi nilai keluaran untuk menggerakkan motor DC pada robot sehingga di dapatkan arah orientasi dari robot.

### 2.8.1 Navigasi dan Kontrol *Mobile Robot* Berbasis *Fuzzy Logic Control*

Navigasi *mobile robot* menggunakan FLC bertujuan menghasilkan kecepatan yang sesuai untuk motor kiri dan motor kanan dari *mobile robot* ketika menuju ke sasaran.



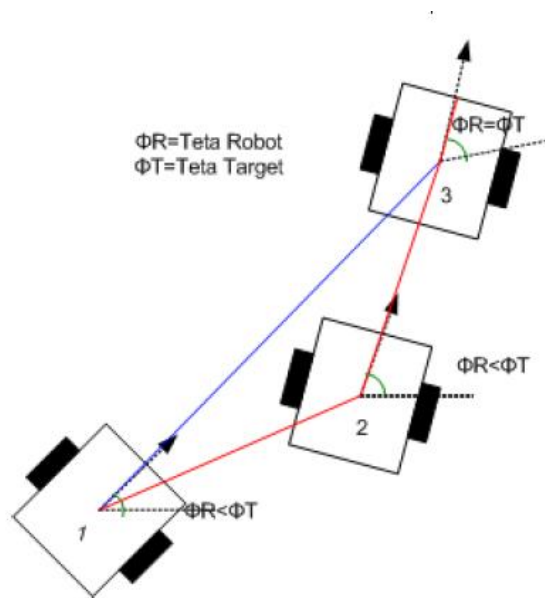
Gambar 2.14 Diagram blok navigasi *mobile robot* dengan metode FLC [17].



Gambar 2.15 Robot dalam *cartesian space* [17].

FLC yang digunakan memiliki dua input yaitu kesalahan dalam posisi dan kesalahan di sudut robot. Jadi FLC memiliki dua input dan dua sistem output [17].

Output dari kontrol *fuzzy* berupa sinyal *pulse width modulation* untuk mengontrol kecepatan dari motor kiri dan motor kanan dari *mobile robot*. Gambar 2.14 menunjukkan diagram blok sistem robot. Gambar 2.15 menunjukkan ketika robot dalam daerah kartesian. Gambar 2.16 menunjukkan ketika robot melakukan pergerakan menuju target dengan menggunakan metode FLC. Algoritma dari *mobile robot* menggunakan metode FLC ketika menuju ke target sebagai berikut:



Gambar 2 . 16 robot dalam *cartesian space* selama melakukan pergerakan [17]

- 1) Mendefinisikan variabel linguistik untuk input dan output sistem. Menghitung variabel input yaitu kesalahan sudut (sudut yang berbeda antara sudut target dengan arah robot) dan menghitung kesalahan jarak (perbedaan antara posisi saat ini dengan posisi target). Menghitung variabel output yaitu kecepatan motor kiri dan kecepatan motor kanan.
- 2) Mendefinisikan *fuzzy set*. *Fuzzy set* dari variabel *fuzzy* yang ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai *fuzzy set* di representasikan dengan menggunakan grafik triangular yang disebut dengan fungsi keanggotaan *fuzzy*.

Tabel 2.4 Notasi dalam FLC

Sudut : $\theta$ error ( $e$ theta)	Jarak : $\theta$ error ( $ed$ )
VSN: Very Small Negative	Z: Zero
SN : Small Negative	N : Near
N : Negative	VN: Very Near
Z: Zero	M: Middle
P : Positive	F: far
BP : Big Positive	VF: Very Far
VBP: Very Big Positive	VBF: Very Big Far

- 3) Mendefinisikan rule fuzzy dari sistem FLC
- 4) Melakukan defuzzifikasi untuk mengembalikan dari output fuzzy ke crisp output dari sistem.

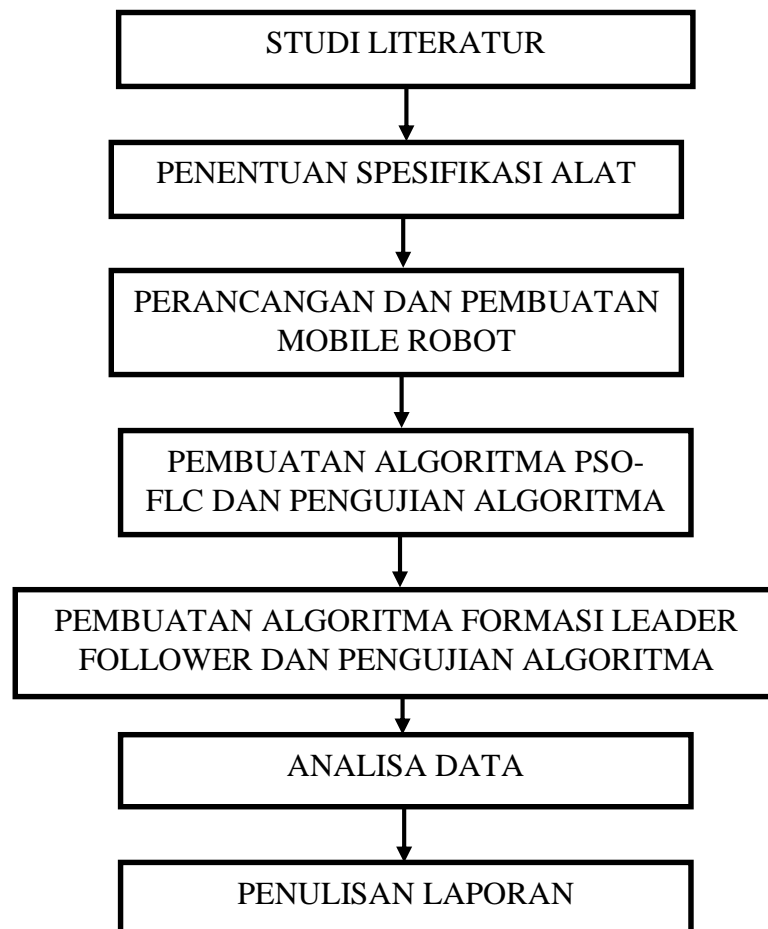




### BAB 3

## METODOLOGI PENELITIAN

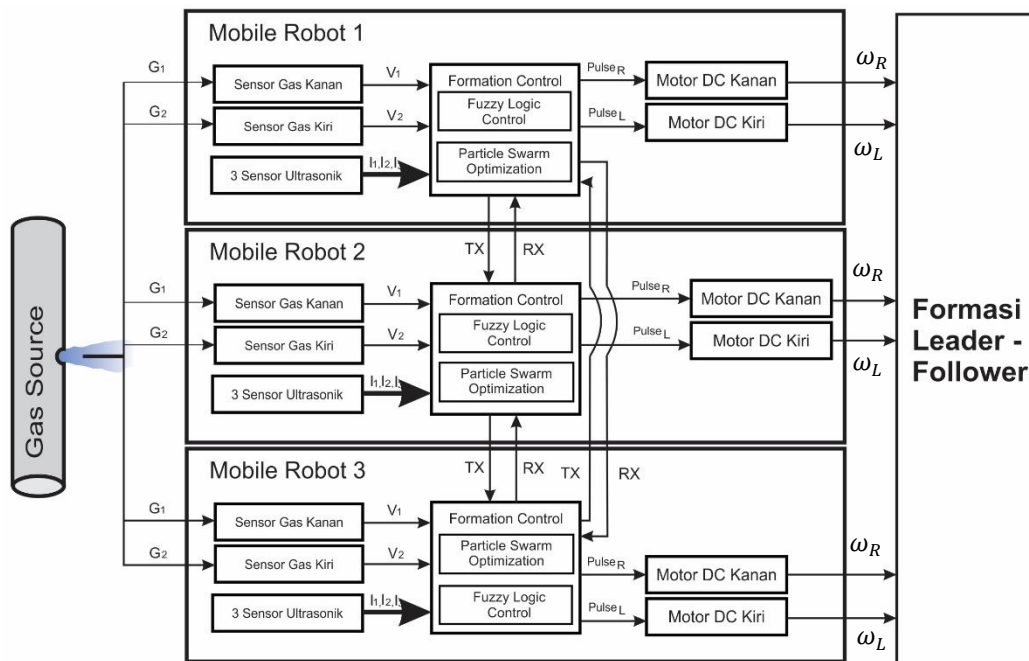
Penelitian ini akan dilakukan dengan cara merancang *multi-mobile robot* dan membuat algoritma PSO-FLC yang dapat membentuk formasi *leader-follower* untuk mencari sumber kebocoran gas. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian

### 3.1 Diagram Blok Sistem Secara Keseluruhan

Pada penelitian ini, penggunaan *multi-mobile robot* bertujuan untuk memperluas jangkauan dalam mendapatkan aroma dari sumber kebocoran gas. Tantangan dalam mencari sumber gas menggunakan *mobile robot* yaitu arah dari aroma gas sering kali berubah jika tertiup angin. Apabila menggunakan hanya satu *mobile robot* maka pada saat terjadi perubahan arah aroma gas maka *mobile robot* akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencari arah aroma gas yang tepat sehingga untuk mengatasi masalah tersebut digunakan lebih dari satu *mobile robot* yang dapat membentuk formasi *leader-follower*. Untuk mencari sumber gas digunakan dua sensor gas yang berada pada masing-masing *mobile robot*. Hasil pengukuran sensor gas dari masing-masing *mobile robot* akan dikirimkan ke anggota *mobile robot* yang lain untuk dibandingkan nilai pengukuran sensor gasnya sehingga dapat menentukan pemimpin kelompok (*global best*) dan anggota kelompok. Penentuan pemimpin kelompok dilakukan berdasarkan nilai pengukuran sensor gas yang paling tinggi di antara seluruh anggota kelompok. Penentuan pemimpin kelompok dan dapat memperbaharui posisi dari masing-masing *mobile robot* menggunakan metode PSO.



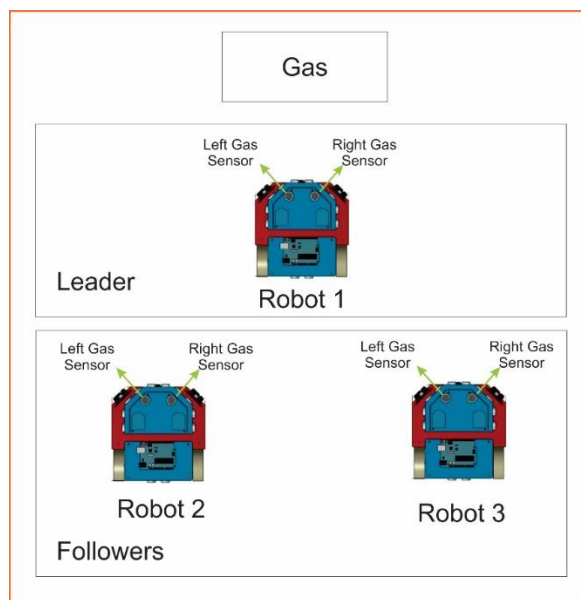
Gambar 3.2 Diagram blok sistem secara keseluruhan

Untuk kecepatan roda kanan dan roda kiri menggunakan metode FLC dengan masukan berdasarkan kekuatan aroma dari sensor gas yang berada pada *mobile robot*. Gambar 3.2 menunjukkan diagram blok sistem secara keseluruhan.

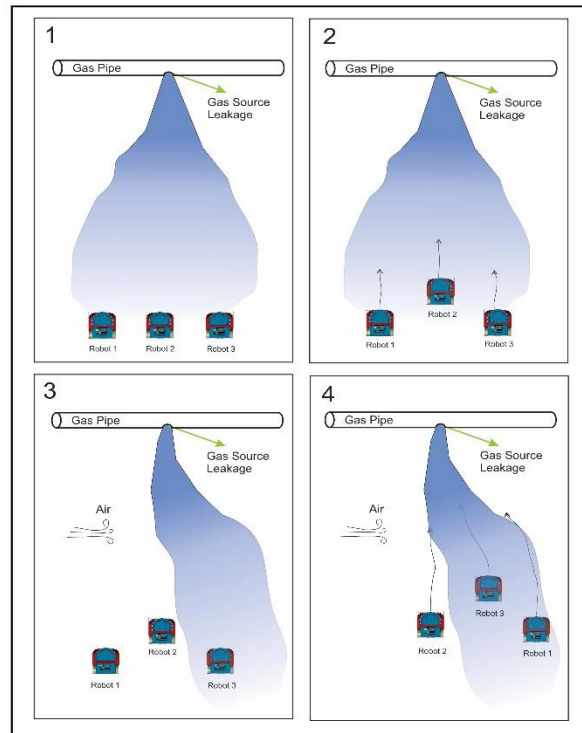
### 3.2 Desain Formasi *Leader-Follower Multi-Mobile Robot*

Penggunaan formasi *leader-follower* bertujuan untuk memperluas jangkauan dari *mobile robot* ketika mencari sumber kebocoran gas. Selain itu, formasi *leader-follower* juga berfungsi untuk menjaga agar kelompok *mobile robot* dapat mengikuti arah perubahan aliran gas dari sumber gas. Formasi *leader-follower multi-mobile robot* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.3.

Kriteria pemilihan pemimpin dari sekelompok *mobile robot* yaitu memiliki nilai tegangan keluaran sensor gas yang paling besar dari seluruh anggota kelompok *mobile robot*. *Fitness* ditentukan berdasarkan seberapa kuat aroma gas yang di dapatkan oleh sensor gas yang berada pada masing-masing *mobile robot*. Anggota dari *mobile robot* akan mengikuti arah dari pemimpin kelompok dengan menjaga jarak dan tetap melakukan berkomunikasi antar robot untuk memberikan informasi tentang lingkungan disekitar masing-masing *mobile robot*.



Gambar 3.3 Formasi *leader follower multi-mobile robot*.



Gambar 3.4 Ilustrasi formasi *leader-follower multi-mobile robot* dalam mencari sumber kebocoran gas

Formasi yang akan dibentuk oleh *mobile robot* akan mengikuti formasi sekawanan burung dalam bermigrasi yaitu formasi huruf V.

Pada Gambar 3.4 merupakan ilustrasi yang menjelaskan bagaimana *mobile robot* berganti posisi ketika terjadi perubahan arah dari aroma sumber kebocoran gas. Pada Gambar 3.4 bagian A, koloni *mobile robot* menuju sumber kebocoran gas dengan membentuk formasi huruf V. Kemudian pada Gambar 3.4 bagian B, terjadi perubahan arah aroma sumber kebocoran gas karena adanya angin yang bertiup ke arah aroma sumber kebocoran gas sehingga menyebabkan terjadi perubahan nilai tegangan keluaran sensor gas dari masing masing *mobile robot*. Berdasarkan gambar tersebut, *mobile robot* nomer 2 memiliki tegangan keluaran sensor gas yang paling besar di bandingkan dengan anggota kelompok yang lain sehingga *mobile robot* nomer 2 akan menjadi pemimpin kelompok (*global best*) dan menjadi yang paling depan di antara anggota kelompok yang lain. Untuk mempertahankan formasi huruf V dan memiliki ketahanan jika terjadi perubahan arah aroma gas maka anggota kelompok yang lain harus menyesuaikan posisi terhadap pemimpin kelompok. Jarak masing-masing robot diketahui

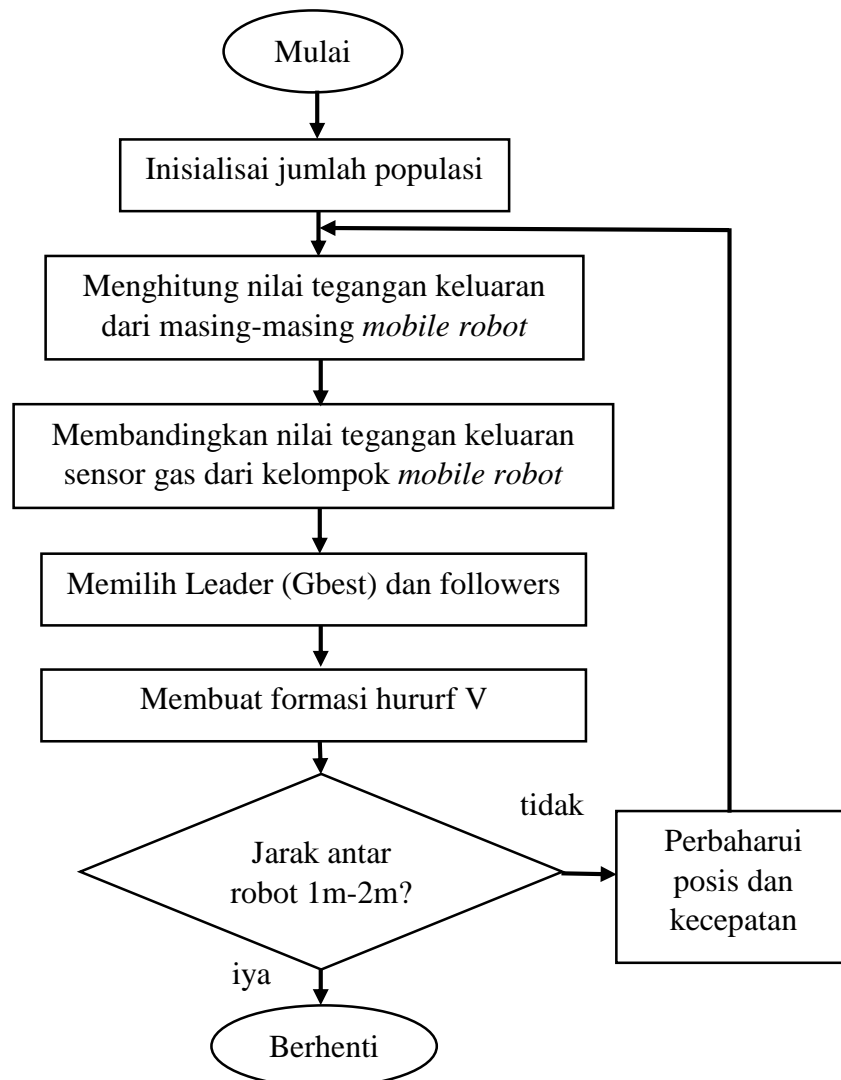
dengan menggunakan nilai RSSI ketika melakukan pengiriman data oleh masing-masing robot. Pada Gambar 3.4 bagian C dan Gambar 3.4 bagian D menunjukkan kelompok robot membentuk formasi *leader-follower* huruf V dan terus menuju ke sumber kebocoran gas.

### 3.3 Desain *Particle Swarm Optimization Multi-Mobile Robot*

PSO merupakan metode optimasi yang didasarkan pada kecerdasan *swarm* (kelompok). Dalam penelitian ini, optimasi yang dimaksud adalah menemukan langkah yang terbaik dalam beberapa langkah yang tersedia. PSO merupakan algoritma berbasis populasi dimana perilaku sebuah individu dalam kelompok (*swarm*) dipengaruhi oleh perilaku dari individu tersebut dan perilaku dari kelompoknya. Telah diketahui bahwa setiap individu saling berbagi informasi di dalam kelompoknya untuk meningkatkan efisiensi gerakan pada kelompok *mobile robot* menuju ke tujuan. Individu diartikan sebagai anggota dalam sebuah kelompok. Algoritma PSO untuk mencari gas secara berkelompok mirip dengan teknik optimasi heuristik berbasis *Artificial Inteligency (AI)*. Dalam ruang pencarian n-dimensi, untuk menemukan posisi terbaik terhadap sumber gas yaitu dengan membandingkan posisi dari masing masing *mobile robot*. Posisi terbaik didapatkan apabila nilai tegangan sensor gas lebih besar dari anggota *mobile robot* yang lain. Nilai tegangan keluaran sensor gas yang paling besar disebut sebagai *Global best (Gbest)*. Dengan menggunakan algoritma PSO maka *mobile robot* dapat memperbaharui kecepatan dan posisi ketika kelompok *mobile robot* menemukan solusi terbaiknya menuju target dan meningkatkan posisi terbaik dari kelompok *mobile robot* terhadap target (sumber gas). Diagram alir algoritma PSO dapat ditunjukkan pada Gambar 3.5. Algoritma PSO meliputi langkah berikut:

- 1) Pada keadaan awal, masing masing robot dalam keadaan sejajar
- 2) Mengevaluasi nilai tegangan keluaran sensor gas dari masing-masing *mobile robot* berdasarkan posisinya.
- 3) Menentukan *mobile robot* dengan nilai tegangan keluaran sensor yang terbaik sebagai *Global best (Leader)* dan *mobile robot* sisanya sebagai *followers*.

- 4) Memperbaharui kecepatan dan posisi berdasarkan nilai tegangan keluaran sensor gas dari masing masing robot.
- 5) Membentuk formasi huruf V dengan masing-masing robot berjarak 1.2m-2m.
- 6) Mengevaluasi *nilai* tegangan keluaran sensor gas dari setiap individu setiap 5 menit.
- 7) Cek kriteria berhenti yaitu apabila sensor jarak dibawah atau sama dengan 9 cm dan nilai error sensor gas sama dengan 0 maka berhenti. Jika tidak, kembali ke langkah 2.

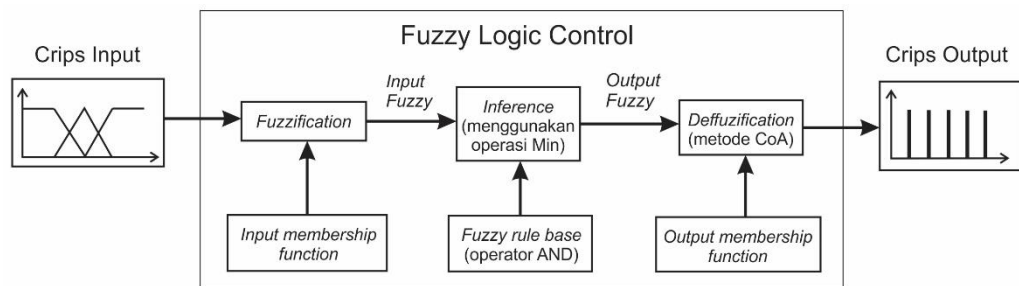


Gambar 3.5 Diagram alir algoritma *particle swarm optimization*

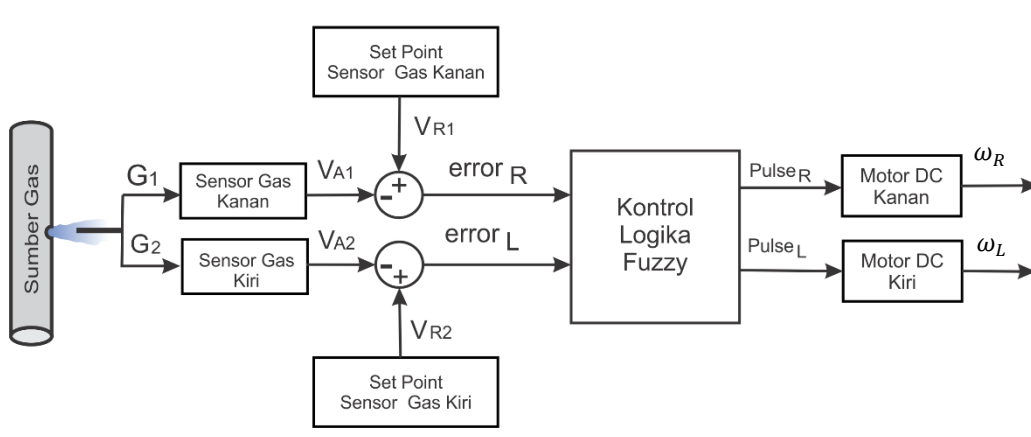
### 3.4 Desain *Fuzzy Logic Control Mobile Robot*

Manusia memiliki kemampuan untuk bertindak berdasarkan pada informasi yang di dapatkan dari pengalaman sebelumnya atau yang sedang terjadi sekarang. FLC terinspirasi dari kemampuan manusia yang berkerja berdasarkan penalaran peraturan linguistik dan dapat mengambil keputusan dari informasi yang bersifat acak.

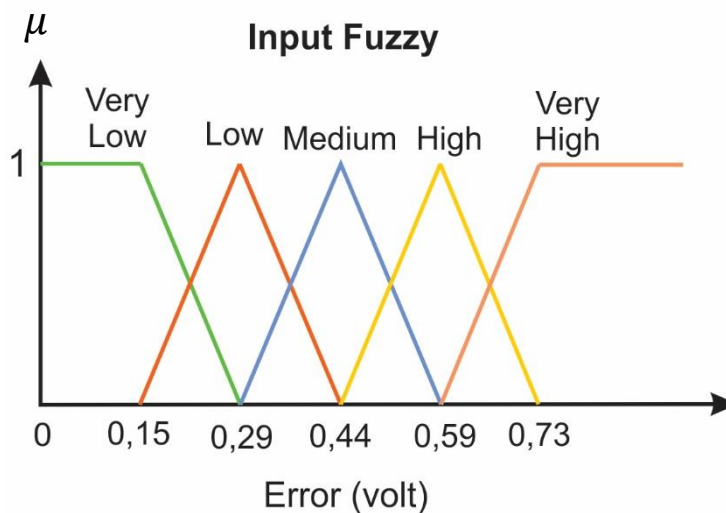
Pengendalian pergerakan *mobile robot* menggunakan FLC berfungsi untuk memudahkan dalam menentukan arah pergerakan robot dengan mengontrol kecepatan dari masing-masing robot. Pengendalian pergerakan *mobile robot* bertujuan agar robot dapat melakukan pencarian terhadap sumber gas dan menentukan titik sumber kebocoran gas tersebut. Untuk mencari titik sumber gas, *mobile robot* ditugaskan untuk mengikuti arah bau dari gas yang bocor sampai pada sumber terjadinya kebocoran gas. Untuk mengikuti arah bau dari gas maka digunakan rangkaian sensor gas MQ-2 dengan keluaran berupa tegangan analog. Masukkan dari metode FLC berupa nilai *error* yang didapatkan dari nilai *set point* dikurangi dengan nilai tegangan keluaran sensor gas. Nilai *set point* merupakan tegangan keluaran dari sensor gas ketika *mobile robot* sudah sangat dekat dengan sumber gas. Nilai *set point* yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0.733 volt. Nilai *error* sebagai masukkan dari FLC menentukan arah kemudi dari *mobile robot* menuju sumber gas. Keluaran dari FLC berupa sinyal PWM yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan dari masing-masing motor DC. Diagram blok dari FLC dapat ditunjukkan pada Gambar 3.6. Tahapan dalam pembuatan FLC untuk mengendalikan pergerakan dari *mobile robot* adalah menentukan *fuzzification*, *inference* dan *defuzzification*.



Gambar 3.6 Diagram blok algoritma *fuzzy logic* pada *mobile robot*.



Gambar 3.7 Diagram blok kemudi *mobile robot* menggunakan metode *fuzzy logic*



Gambar 3.8 *Input* derajat keanggotaan FLC

### 3.4.1 Fuzzification

Fuzzifikasi adalah mengubah crisp input dari sensor gas menjadi masukan *fuzzy*. Masukan dari sensor berupa dua sensor gas yang terletak pada sisi kanan dan sisi kiri dari *mobile robot* dan digunakan untuk menentukan arah pergerakan ke arah kiri atau ke arah kanan dari *mobile robot*. *Input membership function* dari sensor gas dapat di tunjukan pada Gambar 3.8 sebagai berikut. Output dari sensor gas adalah tegangan analog dan diubah menjadi 10-bit *Analog to Digital Converter* (ADC). Data input yang digunakan adalah nilai ADC sekarang dikurangi dengan nilai referensi ADC. Nilai referensi ADC diperoleh setelah



sensor gas sudah selesai melakukan pemanasan eksternal selama 40 detik. Untuk mendapatkan error maka set point dikurangi dengan tegangan keluaran sensor gas.

### 3.4.2 Inference

Sebelum mengambil kesimpulan atau keputusan ada aturan *fuzzy* yang digunakan untuk mengontrol sistem secara logis untuk menghubungkan antara *input fuzzy* dan *output fuzzy* dengan mengambil bentuk logika "*If-Than*". Logika "*If-Than*" dinyatakan sebagai berikut.

$$\text{if } a_1 \text{ is } x_1 \dots \text{ if } a_n \text{ is } x_n \text{ then } b \text{ is } y \quad (3.1)$$

Keluaran dari blok *inference* adalah *fuzzy set* dengan derajat keanggotaan berdasarkan metode *decision-making*. Dalam penelitian ini, aturan *fuzzy* dibagi menjadi dua bagian yaitu aturan *fuzzy* untuk menggerakkan motor kanan dan aturan *fuzzy* untuk menggerakkan motor kiri. setiap *rule fuzzy* memiliki aturan yang berbeda. Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 menunjukkan aturan *fuzzy* untuk menggerakkan motor kanan dan motor kiri dari *mobile robot*. Masukan *fuzzy* yaitu dari sensor gas kanan dan sensor gas kiri dari *mobile robot*. Pengambilan keputusan menggunakan mekanisme *max-min* untuk membuat *output fuzzy* yang sesuai seperti diekspresikan oleh persamaan 3.2.

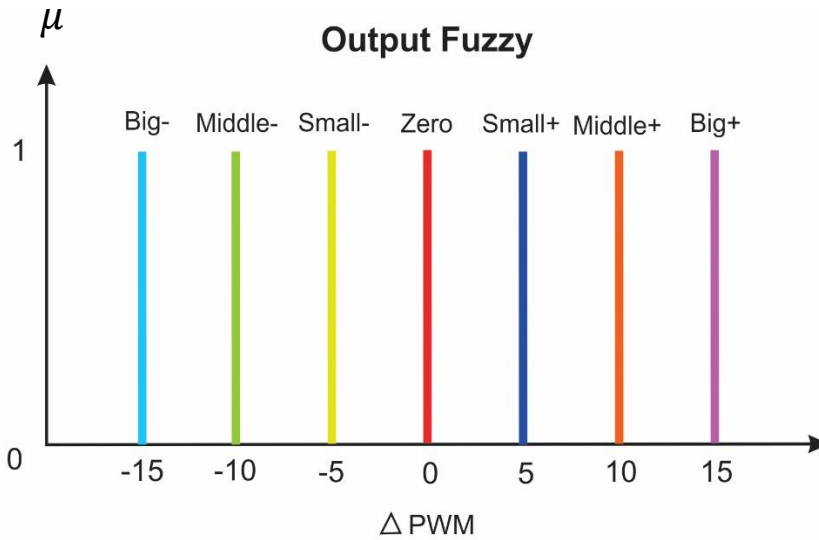
$$\mu_y(y) = \text{Max}[\min[\mu_{x_1}(\text{input}(i)), \mu_{x_2}(\text{input}(j)), \dots]] \quad (3.2)$$

Tabel 3.1 *Rule fuzzy logic control* untuk kecepatan motor DC kanan

		Righ Error				
		Very Low	Low	Medium	High	Very High
Left Error	Very Low	Big-	Zero	Small+	Middle+	Big+
	Low	Big-	Small-	Small+	Middle+	Big+
	Medium	Middle-	Middle-	Zero	Big+	Big+
	High	Big-	Middle-	Small-	Small+	Big+
	Very High	Big-	Big-	Small-	Middle+	Big+

Tabel 3.2 *Rule fuzzy logic control* untuk kecepatan motor DC kiri

		Righ Error				
		Very Low	Low	Medium	High	Very High
Left Error	Very Low	Big-	Big-	Middle-	Middle-	Middle-
	Low	Zero	Small-	Middle-	Middle-	Small-
	Medium	Zero	Small+	Zero	Small-	Small-
	High	Small-	Middle+	Big+	Small+	Small-
	Very High	Small-	Middle+	Big+	Big+	Big+



Gambar 3.9 Keluaran *membership function* dari motor DC

Setelah menentukan *rule fuzzy* maka dapat ditentukan keluaran *fuzzy*. Pada penelitian ini, keluaran *fuzzy* menggunakan metode *singleton pattern* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9.

### 3.4.3 Defuzzification

Defuzzifikasi adalah proses untuk mengubah keluaran *fuzzy* menjadi nilai crisp. Keluaran fungsi keanggotaan dikonversi ke nilai PWM untuk menggerakkan motor pada *mobile robot*. Dalam desain ini, digunakan metode Mamdani untuk mendefinisikan fungsi keanggotaan dari keluaran *fuzzy*

menggunakan *singleton pattern*. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah *Center of Area (CoA)* yang diekspresikan pada persamaan 3.3. Sedangkan untuk mendapatkan nilai PWM dapat diekspresikan pada persamaan 3.4.

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n \frac{\mu(Z_i) \cdot Z_i}{\mu(Z_i)} \quad (3.3)$$

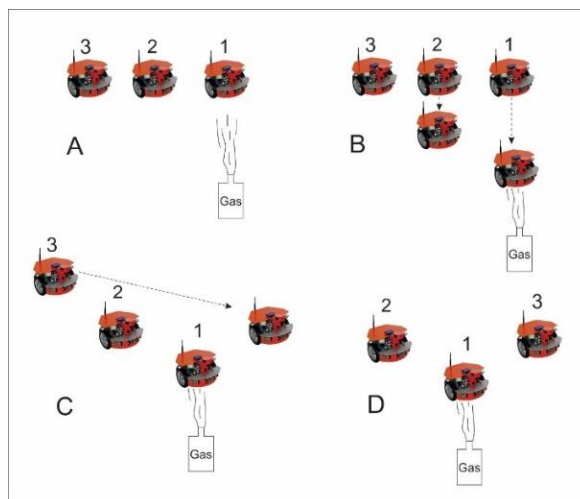
$$\text{Motor PWM} = \text{konstanta} + Z_0 \quad (3.4)$$

Dimana,  $Z_0$  adalah tingkat keanggotaan dan  $Z$  adalah nilai *crisp* motor DC. Persamaan 3.4 menunjukkan nilai PWM motor dengan nilai konstanta yaitu 75.

### 3.5 Skenario Percobaan

Skenario percobaan bertujuan untuk menganalisa apakah sistem *mobile robot* yang digunakan untuk mencari sumber kebocoran gas sudah sesuai dengan sistem aslinya atau tidak. Ilustrasi dari skenario percobaan pertama dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.10.

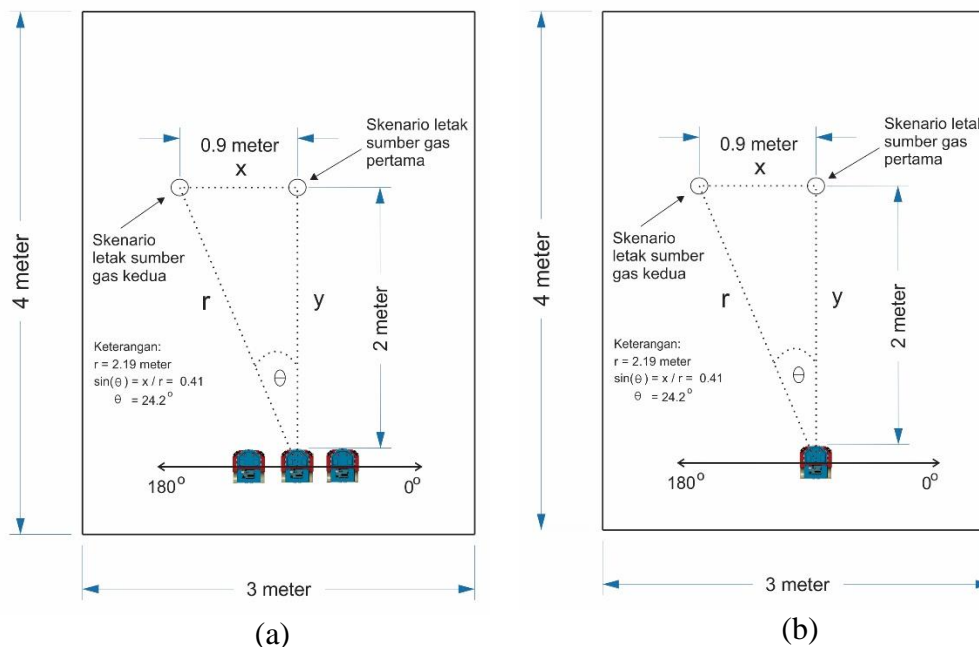
Untuk mengetahui apakah *mobile robot* dapat membentuk formasi *leader-follower* dan dapat menentukan *leader (global best)* menggunakan algoritma PSO maka dilakukan skenario percobaan seperti pada Gambar 3.10. Ketika gas didekatkan pada salah satu *mobile robot* maka mobile robot tersebut akan menginformasikan bahwa di lingkungan tersebut terdapat sumber kebocoran gas.



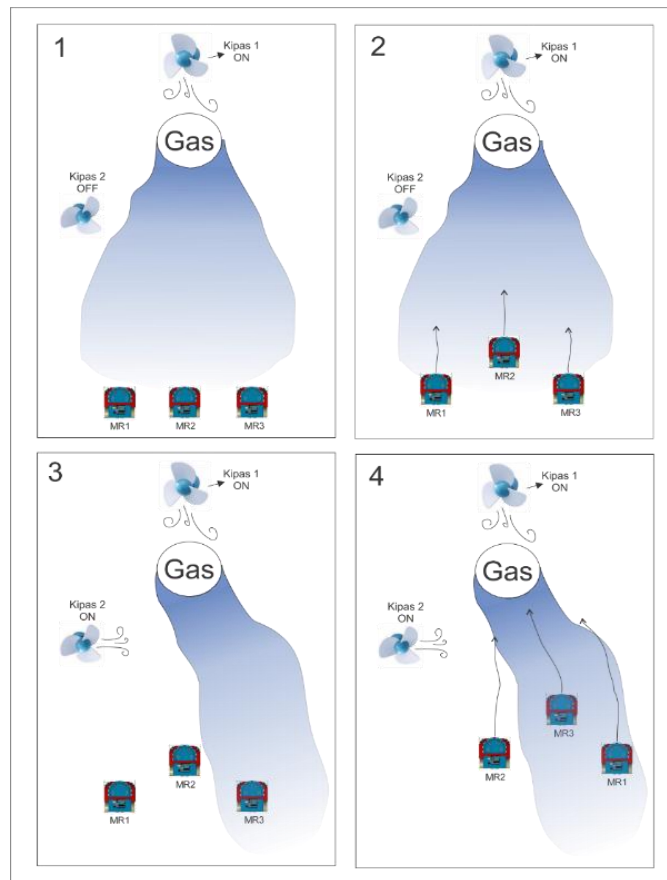
Gambar 3.10 Skenario Percobaan dalam membuat formasi *leader-follower*.

*Mobile robot* yang memiliki nilai tegangan sensor gas yang paling besar akan maju sebagai pemimpin dari kelompok *mobile robot* dan membentuk formasi *leader-follower* seperti pada Gambar 3.10.

Pada skenario percobaan kedua dapat ditunjukkan pada Gambar 3.11. Skenario percobaan kedua bertujuan untuk mengetahui seberapa efektif *mobile robot* ketika mencari sumber gas dengan menggunakan satu *mobile robot* dan tiga *mobile robot*. Pada skenario kedua, ketika menggunakan satu *mobile robot* dan tiga *mobile robot* memiliki peletakkan sumber gas yang sama. Sumber gas diletakkan di dua tempat berbeda. Peletakkan sumber gas pertama yaitu jika menggunakan tiga *mobile robot*, sumber gas diletakkan pada sudut  $90^\circ$  terhadap *mobile robot* 2 dan jika menggunakan satu *mobile robot*, sumber gas diletakkan pada sudut  $90^\circ$  terhadap *mobile robot*. Jarak antara *mobile robot* dengan sumber gas yaitu 2 meter. Peletakkan sumber gas kedua yaitu jika menggunakan tiga *mobile robot*, sumber gas diletakkan pada sudut  $114^\circ$  terhadap *mobile robot* 2 dan jika menggunakan satu *mobile robot*, sumber gas diletakkan pada sudut  $114^\circ$  terhadap *mobile robot*. Jarak *mobile robot* dengan sumber gas yaitu 2,19 meter.



Gambar 3.11 (a) Menggunakan tiga *mobile robot* untuk mencari sumber gas  
 (b) menggunakan satu *mobile robot* untuk mencari sumber gas.

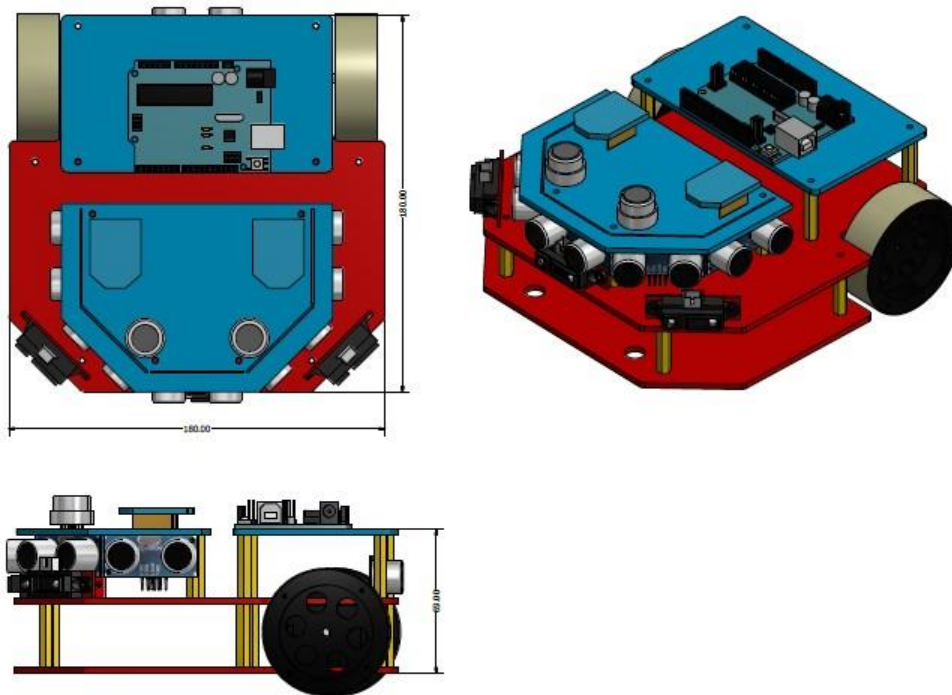


Gambar 3.12 Skenario percobaan multi *mobile robot* dalam mencari sumber kebocoran gas

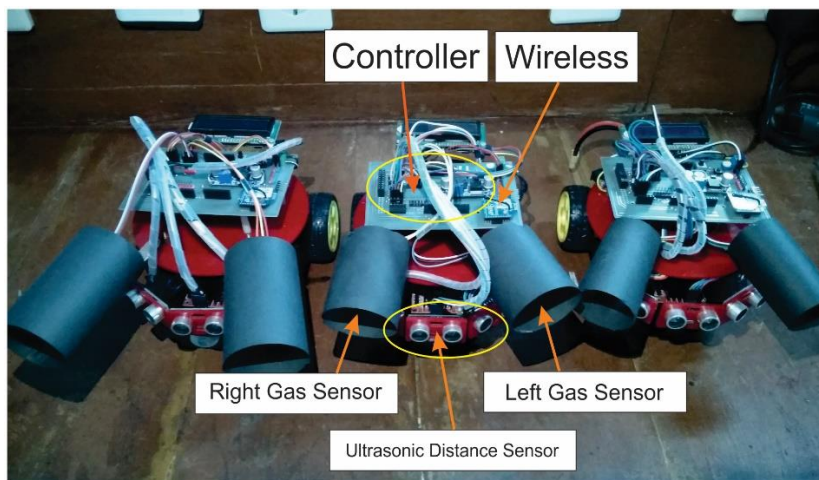
Pada skenario percobaan ketiga dapat ditunjukkan pada Gambar 3.13. Untuk menentukan arah aroma gas menggunakan dua kipas. Kipas 1 digunakan untuk membuat arah lurus dari aroma gas dan kipas 2 digunakan untuk membelokkan arah dari aroma gas. Kelompok *mobile robot* di tugaskan untuk mencari sumber kebocoran gas dengan membentuk formasi huruf V dan mempertahankan formasi tersebut ketika terjadi perubahan arah dari aroma gas.

### 3.6 Desain Mekanik *Mobile Robot*

Perancangan mekanik pada penelitian ini diperlukan untuk membuat desain *mobile robot*. Perancangan *body* dari *mobile robot* sebagai acuan awal untuk merealisasikan *mobile robot* yang akan di bangun. Bentuk desain mekanik secara umum *mobile robot* dirancang menggunakan perangkat lunak *Corel Draw* dan *Autodesk Inventor*, dapat ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.13 Desain mekanik mobile robot



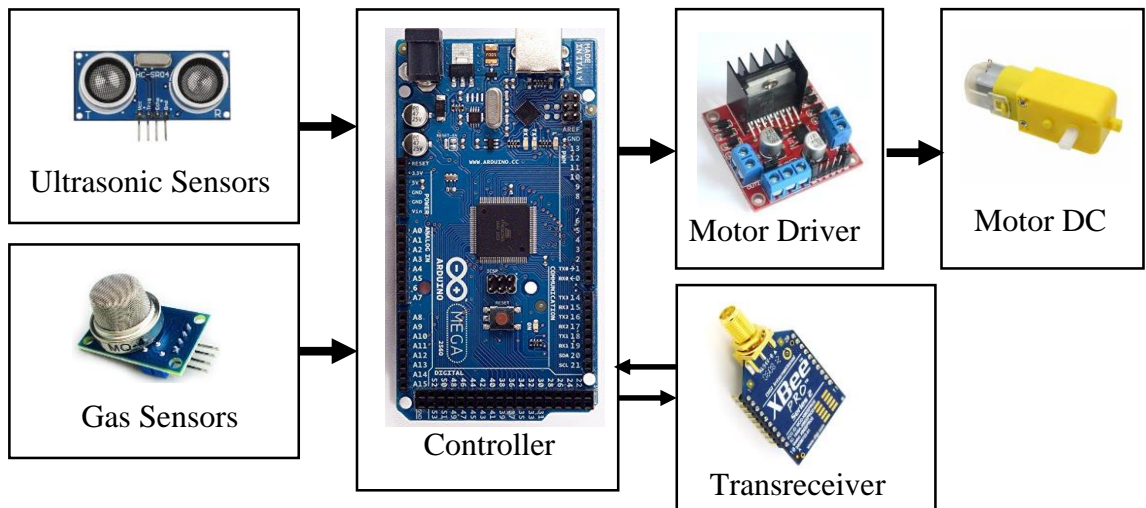
Gambar 3.14 Realisasi dari desain mekanik *mobile robot*

Pada Gambar 3.13 merupakan desain mekanik dan peletakan sensor pada *mobile robot*. Desain *mobile robot* memiliki dimensi seperti berikut yaitu memiliki panjang 180 mm, lebar 180 mm, dan tinggi 69 mm. Untuk diameter roda yaitu 60 mm. Gambar 3.14 menunjukkan realisasi dari desain mekanik yang sudah dirancang.

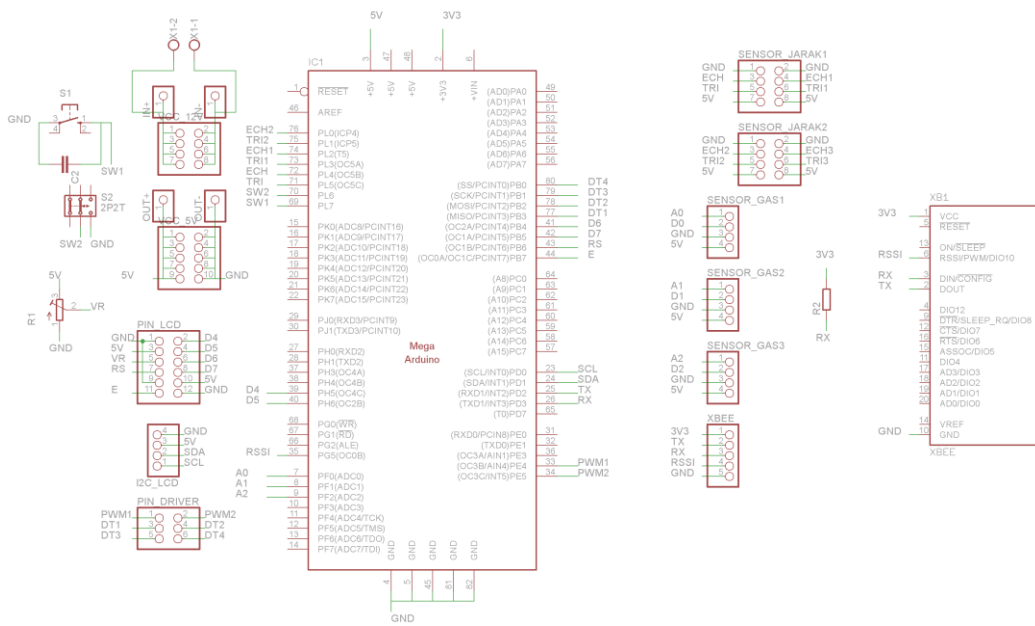
### 3.7 Perancangan Perangkat Keras *Mobile Robot*

Perancangan perangkat keras dapat ditunjukkan pada Gambar 3.15. pada Gambar 3.15, merupakan diagram blok utama perangkat keras yang terdiri dari sensor ultrasonik dan sensor gas sebagai masukan dari mikrokontroler. Sensor ultrasonik merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur jarak dari benda di lingkungan.

Sensor ultrasonik memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk menentukan jarak. Frekuensi yang digunakan oleh sensor ultrasonik yaitu 40 kHz. Sensor gas digunakan untuk mengetahui adanya gas di udara pada lingkungan tersebut dan sebagai masukan untuk kemudi ke sumber gas. Sedangkan keluaran dari rangkaian utama berupa motor DC yang digunakan sebagai aktuator untuk menggerakkan *mobile robot* dan Xbee digunakan sebagai *transreceiver* untuk melakukan komunikasi antar robot. Papan rangkaian tercetak (PCB) untuk *shield* arduino dapat ditunjukkan pada Gambar 3.16. *Shield* arduino Mega 2596 digunakan untuk memudahkan dalam pengkabelan ketika menyusun sistem secara keseluruhan.



Gambar 3.15 skematik diagram blok *hardware mobile robot*



Gambar 3.16 Shield arduino Mega 2596



## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengujian dan analisa terhadap hasil perancangan dan pembuatan sistem pada bab 3. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

- 1) Pengujian sensor gas
- 2) Pengujian sensor jarak
- 3) Pengujian *Receive Signal Strength Indication*.
- 4) Pengujian *fuzzy logic control*
- 5) Pengujian jarak antar robot dalam formasi
- 6) Pengujian sistem formasi *leader-follower*

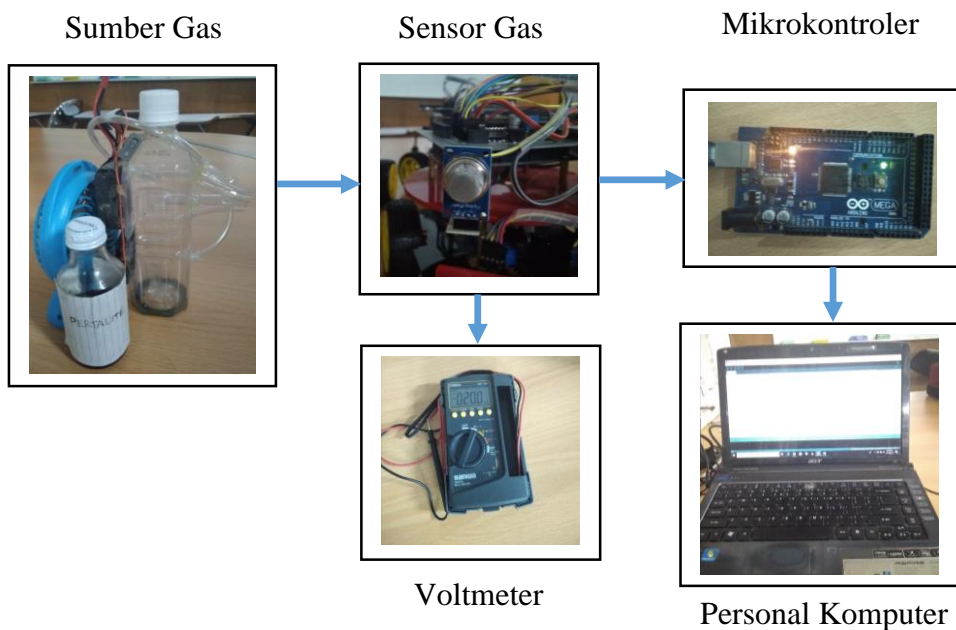
#### **4.1 Pengujian Sensor Gas**

##### **4.1.1 Tujuan Pengujian Sensor Gas**

Sensor gas merupakan sensor yang digunakan untuk mengetahui apakah terdapat gas di lingkungan sekitar robot. Keluaran sensor gas tersebut berupa tegangan analog dari 0 volt sampai 5 volt. Di dalam sensor gas terdapat pemanas internal berupa *heater coil* yang digunakan untuk memanaskan sensor sebelum dapat digunakan. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mendapatkan tegangan keluaran sensor terhadap jarak dari sumber gas dan pengujian waktu yang dibutuhkan sensor gas ketika melakukan pemanasan internal untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran dari sensor gas yang stabil.

##### **4.1.2 Prosedur Pengujian Sensor Gas**

Pada Gambar 4.1 merupakan prosedur pengujian sensor gas yang dilakukan pada penelitian ini. Prosedur pengujian pertama yaitu melakukan pengujian sensor gas terhadap jarak dari sumber gas. Pengujian dilakukan dengan meletakkan sumber gas sejauh 1,5 meter dari sensor gas. Kemudian dilakukan pengukuran nilai tegangan keluaran dari sensor gas dan nilai 10-bit ADC dari mikrokontroler. Data pengukuran dilakukan pada kelipatan 10 cm dengan jarak terjauh 150 cm.



Gambar 4.1 Prosedur pengujian sensor gas

Pengujian kedua dilakukan dengan melakukan pengukuran waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pemanasan sampai mendapatkan nilai ADC yang stabil. Pengukuran dilakukan ketika sensor gas pertama kali di aktifkan kemudian di *timer* untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan sensor untuk mencapai tegangan keluaran yang stabil dengan melihat nilai ADC yang keluar dari mikrokontroler. ADC yang digunakan pada mikrokontroler yaitu ADC 10-bit

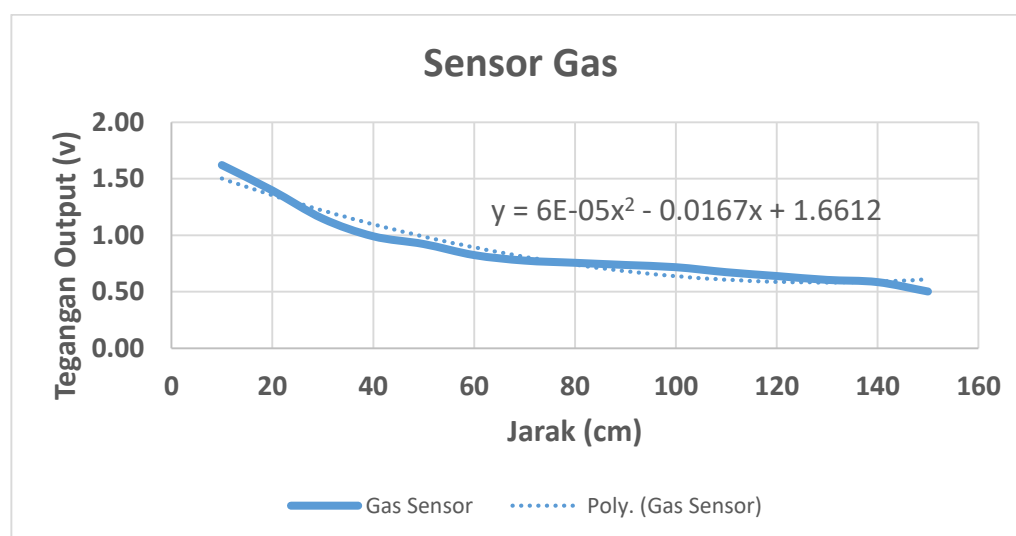
#### 4.1.3 Hasil Pengujian dan Analisa Sensor Gas

Hasil pengujian sensor gas terhadap jarak dari sumber gas dapat ditunjukkan pada Tabel 4.1. Dari hasil pengujian di dapatkan bahwa semakin dekat sensor gas dengan sumber gas maka tegangan keluaran dari sensor gas akan semakin besar begitupun sebaliknya, jika sensor gas semakin jauh dari sumber gas maka tegangan keluaran sensor akan semakin kecil. Pada Gambar 4.2 menunjukkan penurunan nilai tegangan sensor gas ketika sensor gas semakin jauh dari sumber gas.

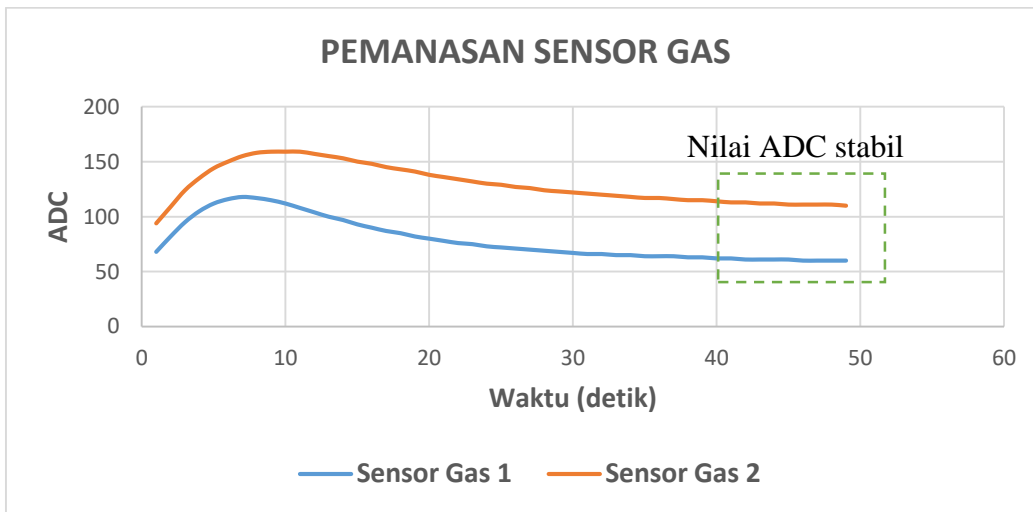
Hasil pengujian pemanasan internal dari sensor gas dapat ditunjukkan pada Gambar 4.2. Dari hasil pengujian pada dua buah sensor gas di dapatkan hasil bahwa waktu yang dibutuhkan oleh sensor gas untuk mencapai nilai tegangan keluaran yang stabil yaitu 40 detik atau lebih. Ketika pertama kali di hidupkan, sensor gas mengalami *overshoot* yang diakibatkan oleh *heater coil* ketika terjadi pemanasan secara internal pada sensor gas.

Tabel 4.1 Pengujian sensor gas terhadap jarak dari sumber gas

Jarak (cm)	Tegangan Keluaran Sensor Gas (volt)	Sensor Gas (ADC)
10	1.62	332
20	1.40	286
30	1.15	235
40	0.99	203
50	0.92	189
60	0.83	169
70	0.78	159
80	0.76	155
90	0.74	151
100	0.72	147
110	0.67	138
120	0.64	131
130	0.61	124
140	0.59	120
150	0.50	103



Gambar 4.2 Pengujian sensor gas terhadap jarak dari sumber gas



Gambar 4.3 Pengukuran waktu pemanasan internal sensor gas

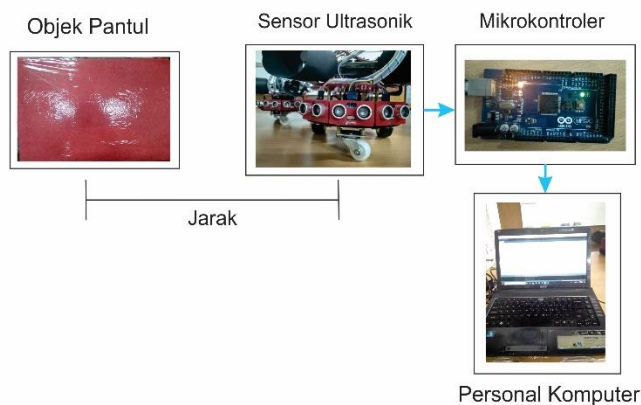
## 4.2 Pengujian Sensor Jarak

### 4.2.1 Tujuan Pengujian Sensor Jarak

Tujuan pengujian sensor jarak yaitu untuk mengetahui jarak benda atau robot yang berada di lingkungan yang dapat dijangkau oleh sensor jarak. Hasil dari sensor jarak ini digunakan untuk menghindari tabrakan antar robot dan sebagai kriteria berhenti ketika *mobile robot* sudah sangat dekat dengan sumber gas.

### 4.2.2 Prosedur Pengujian Sensor Jarak

Prosedur pengujian sensor jarak yaitu dengan meletakkan benda padat datar didepan sensor jarak kemudian dilakukan pengukuran jarak antara benda dengan sensor jarak. Gambar 4.4 menunjukkan pengujian sensor ultrasonik.



Gambar 4.4 Prosedur pengujian sensor ultrasonik

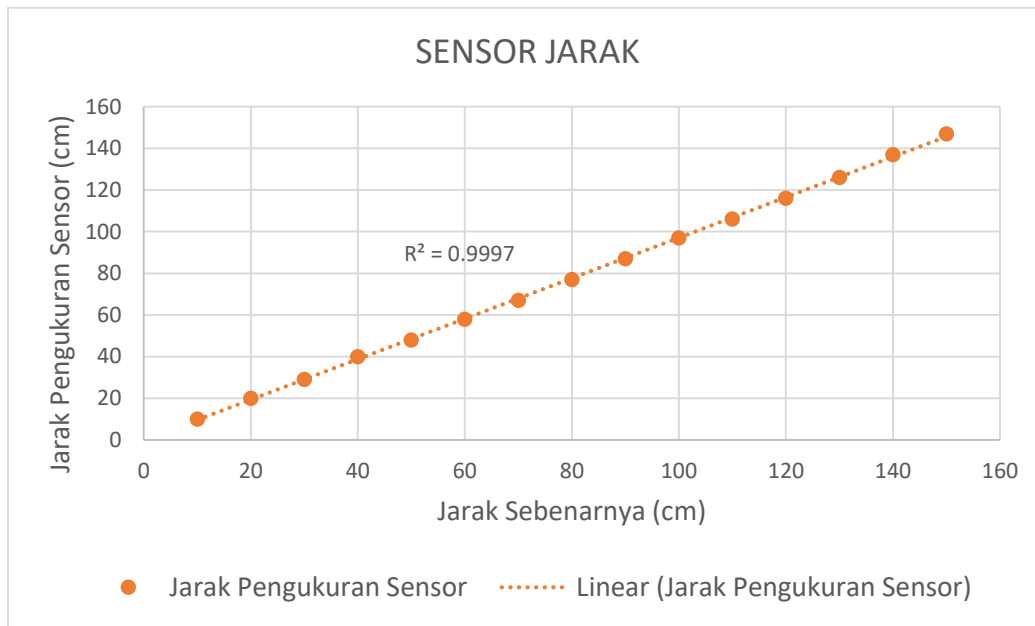
Sensor jarak dihubungkan dengan mikrokontroler sebagai pusat kendali untuk mengukur waktu yang dibutuhkan sensor ketika memancarkan dan menerima gelombang ultrasonik yang hasilnya direpresentasikan sebagai jarak benda. Pengukuran jarak dilakukan pada kelipatan 10 cm dengan jarak terjauh 150 cm dari jarak benda ke sensor ultrasonik.

#### 4.2.3 Hasil Pengujian dan Analisa Sensor Jarak

Dari hasil pengujian sensor jarak, di dapatkan hasil bahwa sensor jarak yang digunakan sudah menunjukkan performa yang cukup baik dengan *error* tertinggi sebesar 4,29% dan error terendah sebesar 0%. Performa yang paling baik ketika jarak benda dengan sensor berjarak 10 cm sampai 20 cm. Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian jarak benda dengan sensor jarak. Sedangkan Gambar 4.3 menunjukkan grafik hasil pengukuran jarak menggunakan sensor jarak terhadap jarak sebenarnya dari benda.

Tabel 4.2 Hasil pengujian sensor jarak

Jarak (cm)	Jarak Pengukuran Sensor (cm)	Error(%)
10	10	0.00
20	20	0.00
30	29	3.33
40	40	0.00
50	48	4.00
60	58	3.33
70	67	4.29
80	77	3.75
90	87	3.33
100	97	3.00
110	106	3.64
120	116	3.33
130	126	3.08
140	137	2.14
150	147	2.00



Gambar 4.5 Hasil Pengukuran Jarak benda terhadap sensor jarak

### 4.3 Pengujian Jarak Menggunakan Nilai RSSI

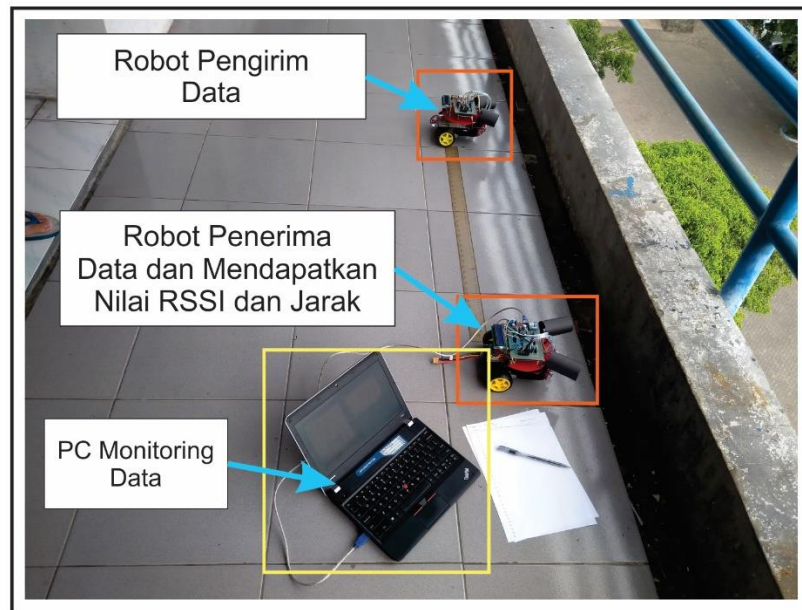
#### 4.3.1 Tujuan Pengujian Jarak Menggunakan Nilai RSSI

Tujuan dari pengujian jarak menggunakan nilai RSSI yaitu untuk mengetahui jarak masing masing robot terhadap robot yang lain ketika melakukan pengiriman data. Data jarak digunakan untuk membuat formasi dan mempertahankan jarak antar robot.

#### 4.3.2 Prosedur Pengujian Jarak Menggunakan Nilai RSSI

Prosedur pengujian jarak menggunakan nilai RSSI yaitu pertama dengan mengambil data nilai RSSI pada jarak 1 meter yang diinisialisasikan sebagai nilai  $A$  dan *index path loss* sebesar 1.74 seperti ditunjukkan pada Persamaan 2.12. Pengukuran jarak dilakukan dengan menempatkan robot dengan robot lainnya pada kelipatan jarak 2 meter kemudian dilakukan pengiriman data dari salah satu robot ke robot yang lainnya. Ketika proses pengiriman data, mikrokontroler mengambil data RSSI dengan cara merubah nilai keluaran PWM dari pin RSSI Xbee menjadi data dalam satuan -dBm dengan algoritma sebagai berikut.

```
#define pinRSSI 4
rssi = pulseIn(pinRSSI, LOW, 200);
jarakXBee = pow(10,(rssi/(1.74*10)));
```



Gambar 4. 6 Prosedur pengukuran jarak menggunakan RSSI

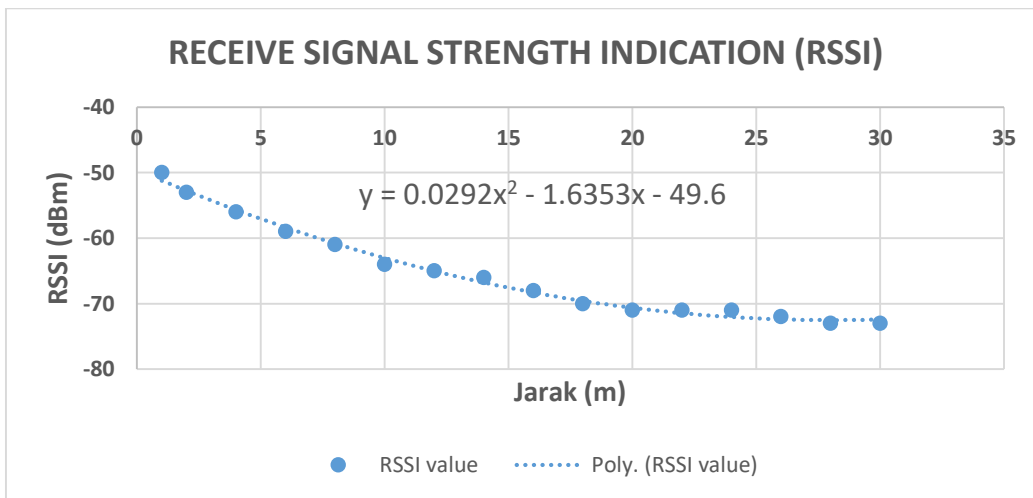
Data dalam satuan dBm kemudian diubah menjadi data jarak pada mikrokontroler.

#### 4.3.3 Hasil Pengujian dan Analisis Jarak Menggunakan Nilai RSSI

Berdasarkan hasil pengujian nilai RSSI terhadap jarak, didapatkan hasil bahwa semakin jauh jarak antar robot maka nilai RSSI (-dBm) yang di dapatkan oleh penerima akan semakin kecil karena kekuatan sinyal yang didapatkan oleh robot penerima akan semakin lemah begitupun sebaliknya jika robot pengirim memiliki jarak yang dekat dengan penerima maka sinyal yang di dapatkan akan semakin kuat sehingga nilai RSSI akan semakin besar. Berdasarkan Tabel 4.3 didapatkan hasil bahwa pengukuran jarak dekat antara pengirim dan penerima yaitu dibawah 16 meter memiliki nilai *error* yang besar sedangkan untuk jarak yang melebihi 16 meter memiliki *error* yang relatif kecil. Pengukuran jarak menggunakan nilai RSSI memiliki jarak minimal yang bisa diukur yaitu 1 meter. Jarak dibawah 1 meter antara pengirim dan penerima akan dianggap memiliki jarak 1 meter. Pengukuran jarak menggunakan nilai RSSI menunjukkan tingkat kelinieran data yang cukup bagus yaitu 0,978 yang berarti sudah mendekati nilai sebenarnya.

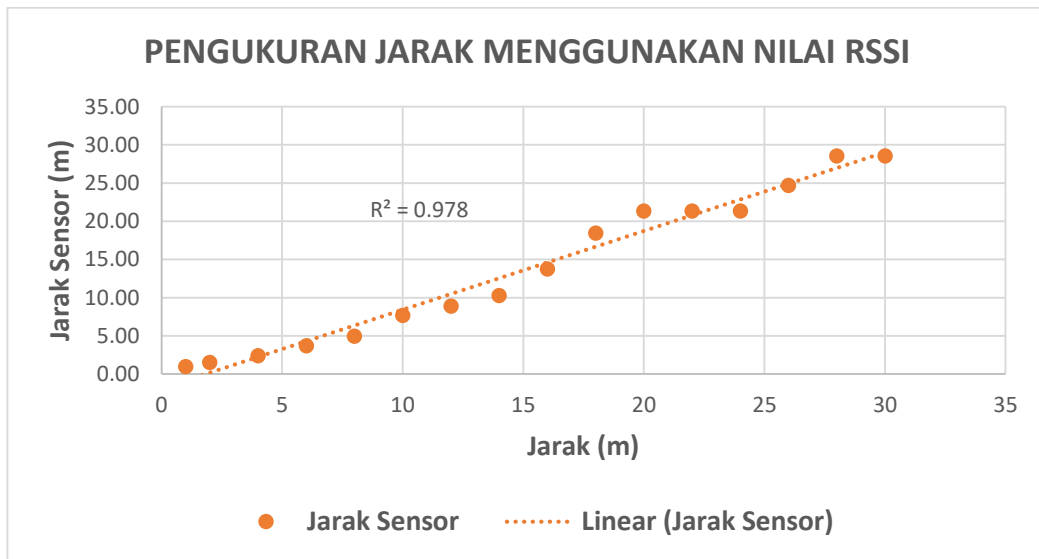
Tabel 4.3 Pengujian jarak menggunakan nilai RSSI

Jarak (m)	RSSI (-dBm)	Jarak Pengukuran Sensor (m)	ERROR (%)
1	50	1.00	0.00
2	53	1.55	22.58
4	56	2.40	40.06
6	59	3.71	38.13
8	61	4.97	37.90
10	64	7.69	23.07
12	65	8.90	25.84
14	66	10.30	26.46
16	68	13.78	13.88
18	70	18.44	2.46
20	71	21.34	6.68
22	71	21.34	3.02
24	71	21.34	11.10
26	72	24.68	5.06
28	73	28.56	1.99
30	73	28.56	4.81



Gambar 4. 7 Pengujian nilai RSSI terhadap jarak antar robot





Gambar 4.8 Pengukuran jarak antar robot menggunakan nilai RSSI

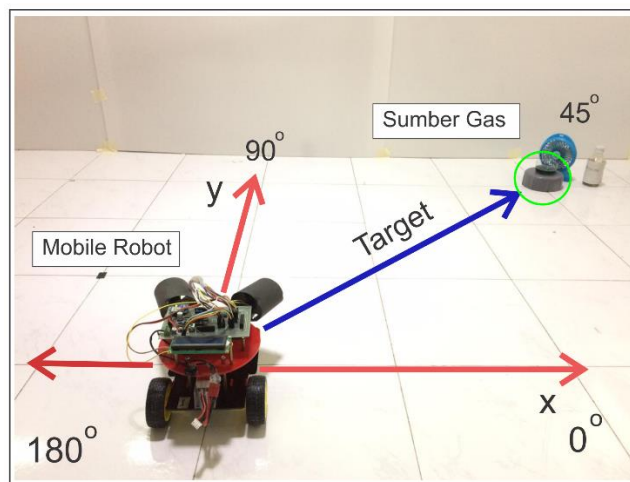
#### 4.4 Pengujian *Fuzzy Logic Control* Pada *Mobile Robot*

##### 4.4.1 Tujuan Pengujian FLC

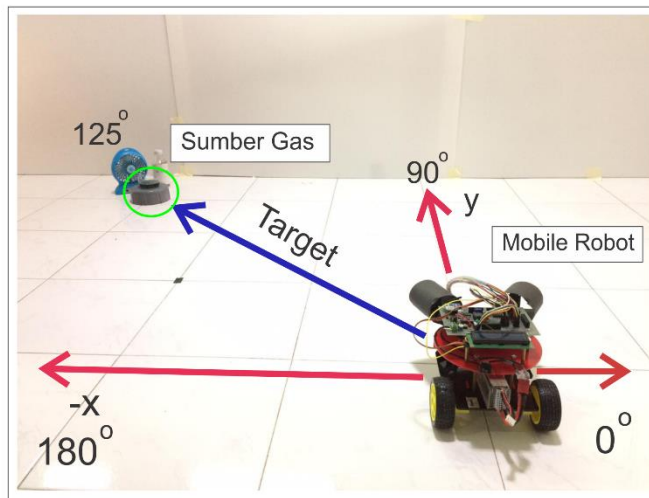
Tujuan pengujian FLC yaitu untuk mendapatkan nilai keluaran *fuzzy* berupa nilai PWM motor kiri dan motor kanan untuk mengendalikan pergerakan *mobile robot* menuju ke sumber gas.

##### 4.4.2 Prosedur Pengujian FLC

Prosedur pengujian FLC pada *mobile robot* yaitu dengan meletakkan sumber gas pada jarak 1,3 meter dari *mobile robot*. Sudut antara *mobile robot* dengan sumber gas yaitu  $45^\circ$  sebelah kanan dan  $125^\circ$  sebelah kiri dari *mobile robot*.



Gambar 4.9 Prosedur pengujian FLC ketika sumber gas  $45^\circ$



Gambar 4.10 Prosedur pengujian FLC ketika sumber gas 125°

Pada keadaan awal, *mobile robot* berada pada sudut 90°. Ketika *mobile robot* menuju sumber gas, *mobile robot* juga mengirimkan data ke personal komputer untuk mengambil data sensor gas dan nilai PWM keluaran dari *fuzzy logic*.

#### 4.4.3 Hasil Pengujian dan Analisis FLC

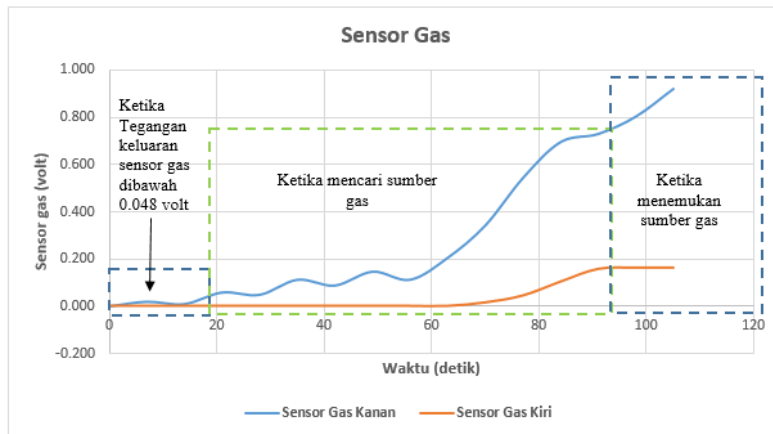
Hasil pengujian FLC pada *mobile robot* menunjukkan bahwa apabila nilai tegangan keluaran sensor gas kurang dari 0,048 volt maka udara pada lingkungan yang dekat dengan *mobile robot* tidak terdapat sumber gas dan FLC pada *mobile robot* tidak diaktifkan. Setelah nilai tegangan keluaran sensor gas lebih dari 0,048 volt maka terdapat gas di udara sehingga FLC pada *mobile robot* mulai aktif dan mulai melakukan pencarian sumber gas. Pada pengujian FLC dengan sumber gas berada pada sudut 45° dapat ditunjukkan pada gambar berikut yaitu Gambar 4.11 menunjukkan bahwa sensor gas sebelah kanan lebih banyak mencium aroma gas sehingga pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa kecepatan motor sebelah kiri lebih besar dibandingkan dengan kecepatan motor sebelah kanan sehingga *mobile robot* bergerak ke arah sebelah kanan. *Mobile robot* dapat mengikuti arah aroma gas dengan memasukkan FLC berupa nilai *error* sensor gas. Nilai *error* sensor gas akan semakin kecil apabila semakin dekat dengan sumber gas, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.12. Nilai *error* sensor gas di dapatkan dari pengurangan nilai *set point* yang telah di tetapkan terhadap tegangan keluaran sensor gas. *Mobile robot* akan berhenti apabila salah satu *error* tegangan keluaran sensor gas bernilai 0.

Tabel 4.4 Hasil pengujian metode FLC dengan sumber gas pada sudut 45°.

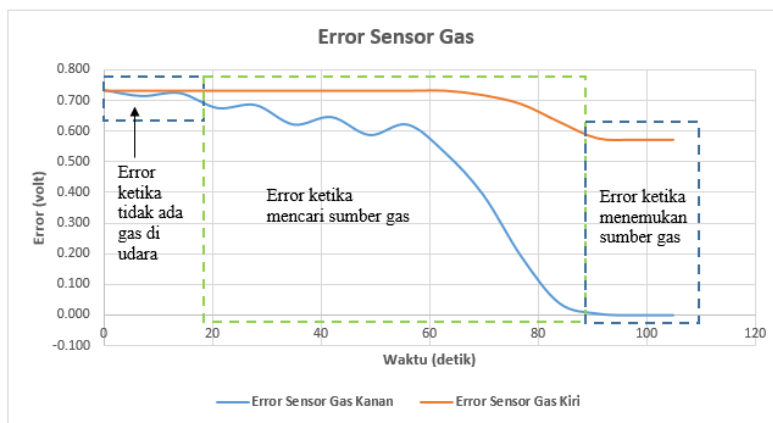
Waktu (detik)	Sensor Gas (volt)		PWM Motor DC		Error Sensor Gas (volt)	
	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri
0	0.000	0.000	0	0	0.733	0.733
7	0.020	0.000	0	0	0.714	0.733
14	0.010	0.000	0	0	0.723	0.733
21	0.059	0.000	0	0	0.674	0.733
28	0.049	0.000	83	90	0.684	0.733
35	0.112	0.000	74	90	0.621	0.733
42	0.088	0.000	78	90	0.645	0.733
49	0.147	0.000	70	90	0.587	0.733
56	0.112	0.000	74	90	0.621	0.733
63	0.205	0.000	70	90	0.528	0.733
70	0.342	0.015	69	89	0.391	0.718
77	0.543	0.044	65	88	0.191	0.689
84	0.694	0.103	65	86	0.039	0.630
91	0.728	0.156	65	85	0.005	0.577
98	0.802	0.161	0	0	0.000	0.572
105	0.919	0.161	0	0	0.000	0.572

Tabel 4.5 Hasil pengujian metode FLC dengan sumber gas pada sudut 125°.

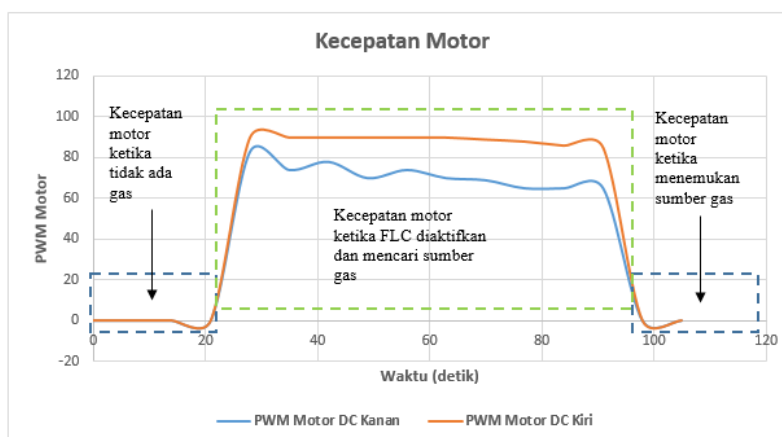
Waktu (detik)	Sensor Gas (volt)		PWM Motor DC		Error Sensor Gas(volt)	
	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri
0	0.000	0.000	0	0	0.733	0.733
7	0.000	0.000	0	0	0.733	0.733
14	0.196	0.352	84	68	0.538	0.381
21	0.293	0.606	75	65	0.440	0.127
28	0.342	0.650	75	63	0.391	0.083
35	0.323	0.572	75	64	0.411	0.161
42	0.362	0.567	75	63	0.371	0.166
49	0.318	0.630	75	64	0.415	0.103
56	0.220	0.538	76	63	0.513	0.196
63	0.152	0.523	76	62	0.582	0.210
70	0.254	0.445	81	65	0.479	0.288
77	0.342	0.523	75	65	0.391	0.210
84	0.225	0.528	77	63	0.508	0.205
91	0.147	0.484	80	63	0.587	0.249
98	0.147	0.611	70	60	0.587	0.122
105	0.137	0.826	0	0	0.596	0.000
112	0.098	1.031	0	0	0.635	0.000



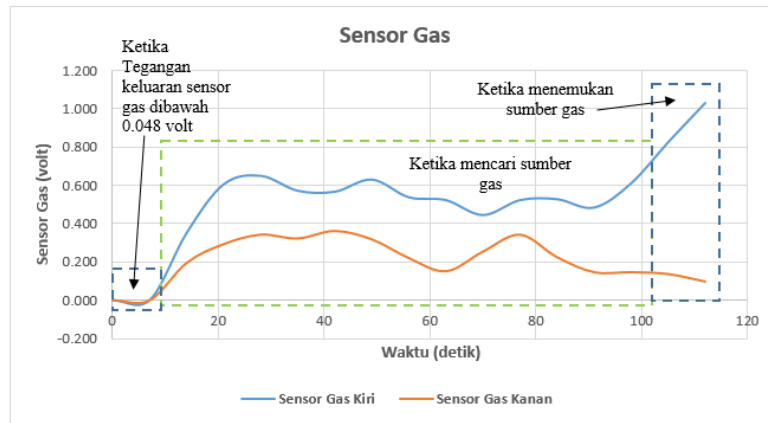
Gambar 4.11 Respon sensor gas ketika mencari sumber gas pada sudut 45°



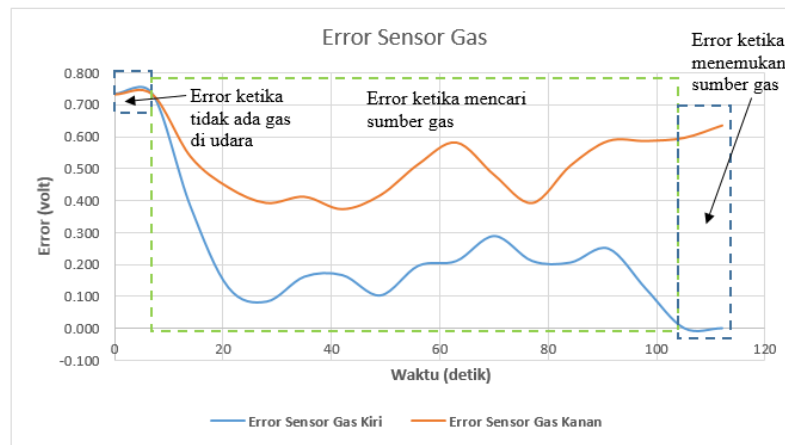
Gambar 4.12 Error sensor gas sebagai masukan dari FLC ketika mencari sumber gas pada sudut 45°



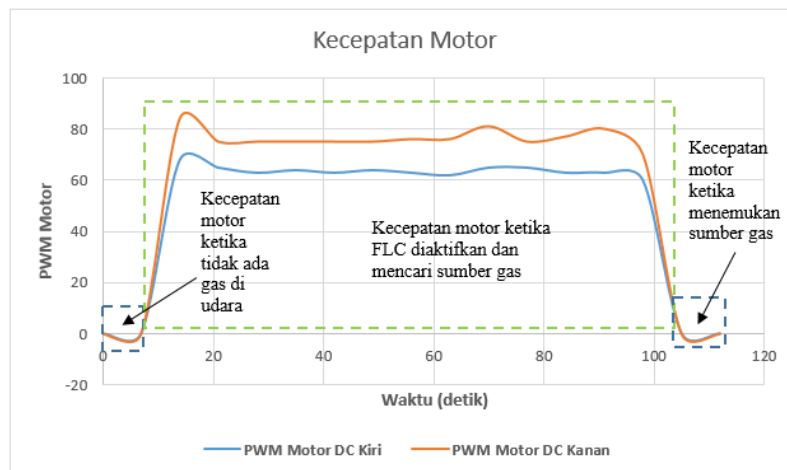
Gambar 4.13 Respon keluaran FLC berupa kecepatan motor ketika mencari sumber gas pada sudut 45°



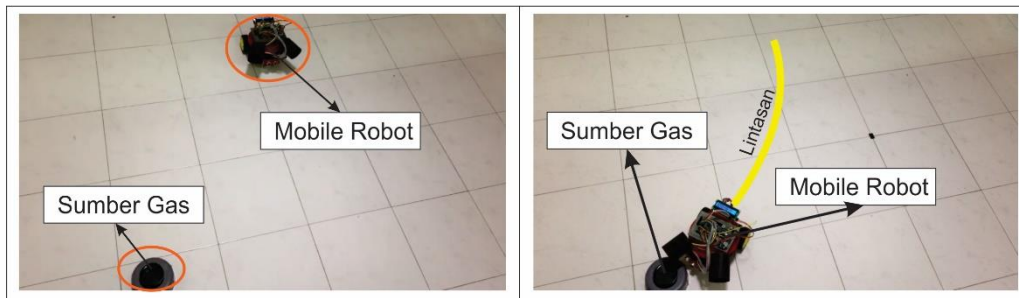
Gambar 4.14 Respon sensor gas ketika mencari sumber gas pada sudut 125°



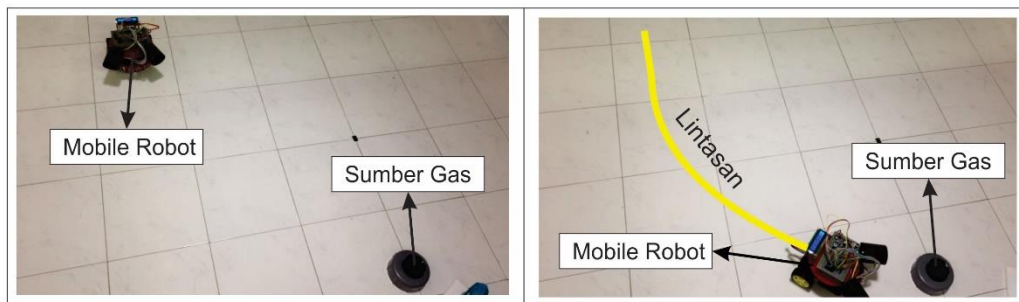
Gambar 4. 15 Error sensor gas sebagai masukan dari FLC ketika mencari sumber gas pada sudut 125°



Gambar 4.16 Respon keluaran *fuzzy logic* berupa PWM motor ketika mencari sumber gas pada sudut 125°



Gambar 4.17 Hasil pengujian FLC dengan sudut sumber gas terhadap robot 45°



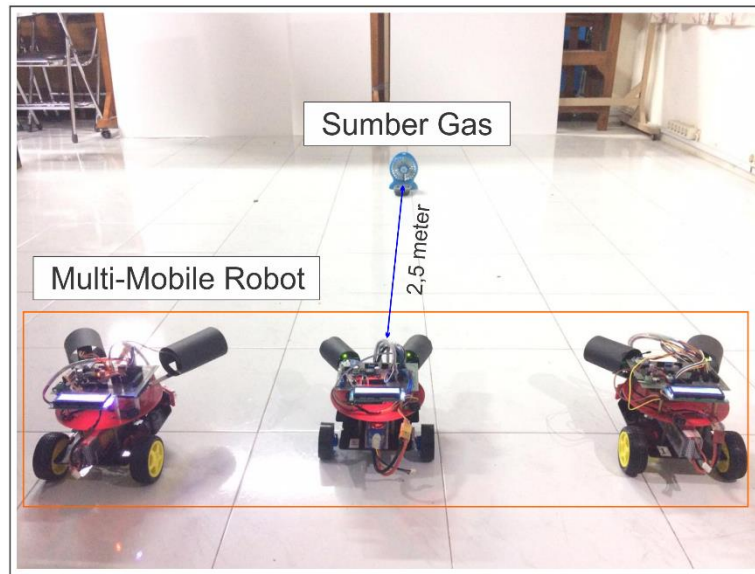
Gambar 4.18 Hasil pengujian FLC dengan sudut sumber gas terhadap robot 125°

Pengujian FLC dengan sumber gas berada pada sudut 125° dapat ditunjukkan pada gambar berikut yaitu Gambar 4.14 menunjukkan bahwa sensor gas sebelah kiri memiliki nilai tegangan keluaran sensor gas yang lebih besar dibandingkan dengan tegangan keluaran sensor gas sebelah kanan sehingga pada Gambar 4.16 menunjukkan bahwa kecepatan motor kanan lebih besar dibandingkan dengan kecepatan motor kiri sehingga pergerakan dari *mobile robot* menuju kearah sebelah kiri. *Error* sensor gas digunakan untuk mengikuti arah aroma gas. *Error* sensor gas dapat ditunjukkan pada Gambar 3.15. Robot akan berhenti jika salah satu *error* sensor gas bernilai 0.

## 4.5 Pengujian Jarak Antar Robot Dalam Formasi

### 4.5.1 Tujuan Pengujian Jarak Antar Robot Dalam Formasi

Tujuan dari pengujian jarak antar robot dalam formasi *leader-follower multi-mobile robot* yaitu untuk mengetahui jarak antar masing-masing *mobile robot* pada saat pembentukan formasi ketika menuju sumber gas, mengetahui bagaimana proses pembentukan formasi huruf V dan bagaimana cara menentukan pemimpin dan pengikut dari kelompok *mobile robot*.



Gambar 4.19 Prosedur percobaan formasi *leader-follower multi-mobile robot* ketika mencari sumber gas

#### 4.5.2 Prosedur Pengujian Jarak Antar Robot Dalam Formasi

Prosedur pengujian jarak antar robot dalam formasi *leader-follower* terlebih dahulu dengan meletakkan tiga *mobile robot* sejajar. Kemudian sumber gas diletakkan tegak lurus dengan *mobile robot* yang akan diuji menjadi pemimpin kelompok *mobile robot*. kemudian setelah kipas di aktifkan untuk mengarahkan aroma gas maka *mobile robot* mulai mencium aroma gas di udara dan mulai memilih pemimpin dan pengikut dari *mobile robot*. Setelah pemimpin terpilih maka sekelompok *mobile robot* mulai membentuk formasi dan menuju sumber gas dengan mempertahankan formasi huruf V seperti ditunjukkan pada Gambar 4.19.

#### 4.5.3 Hasil Pengujian dan Analisis Formasi *Leader-Follower Multi-Mobile Robot*

Pada hasil pengujian formasi *leader-follower* menunjukkan sekelompok *mobile robot* sudah dapat membentuk formasi huruf V dengan pemimpin kelompok berada paling depan diikuti dengan pengikut yang berada dibelakang samping kiri dan samping kanan dari pemimpin *mobile robot*. Ketika membentuk formasi pada Gambar 4.20, masing-masing *mobile robot* dapat menjaga jarak antara 1m sampai

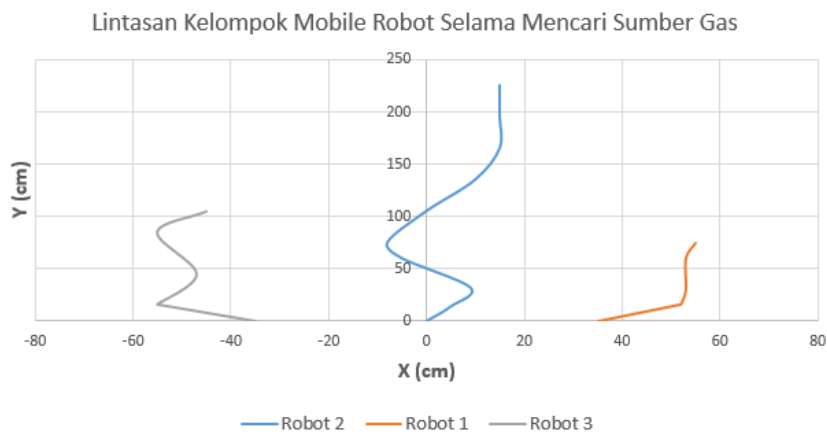
2m. Pengukuran jarak antara *leader* dengan *follower* menggunakan persamaan Pitagoras. Pada saat formasi pertama kali terbentuk, jarak antara *follower* 1 dengan *follower* 2 yaitu 107 cm sedangkan jarak antara *leader* dengan *follower* 1 yaitu 126,19 cm dan jarak antara *leader* dengan *follower* 2 yaitu 135,6 cm. Setelah mendekati sumber gas, jarak antara *follower* 1 dengan *follower* 2 yaitu 150 cm sedangkan jarak antara *leader* dengan *follower* 1 yaitu 153 cm dan jarak antara *leader* dengan *follower* 2 yaitu 161,55 cm. Pada Tabel 4.5 menunjukkan jarak antar robot ketika robot 3 sebagai *leader* dan robot 1 dan robot 2 sebagai *follower*.

Tabel 4.6 Jarak antar robot selama formasi huruf V terbentuk dengan Robot 2 sebagai *leader* ketika mencari sumber gas

Formasi Pertama Kali Terbentuk : Jarak (cm)			Formasi Ketika Mendekati Target : Jarak (cm)		
L-F1	L-F2	F1-F2	L-F1	L-F2	F1-F2
126.194	135.595	107	152.971	161.555	150

Tabel 4.7 Jarak antar robot selama formasi huruf V terbentuk dengan Robot 3 sebagai *leader*.

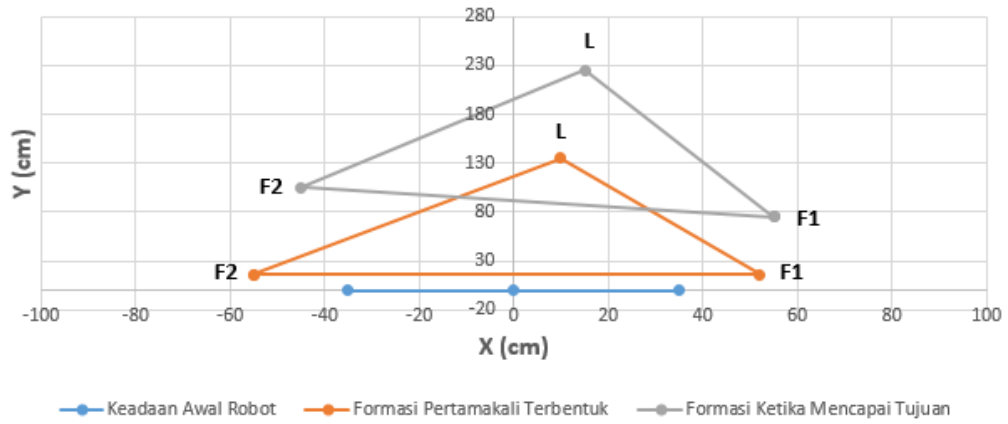
Formasi : Jarak (cm)		
L-F2	L-F1	F1-F2
125.40	74.09	179.51



Gambar 4.20 Lintasan kelompok *mobile robot* dengan robot 2 sebagai *leader* selama pencarian sumber gas

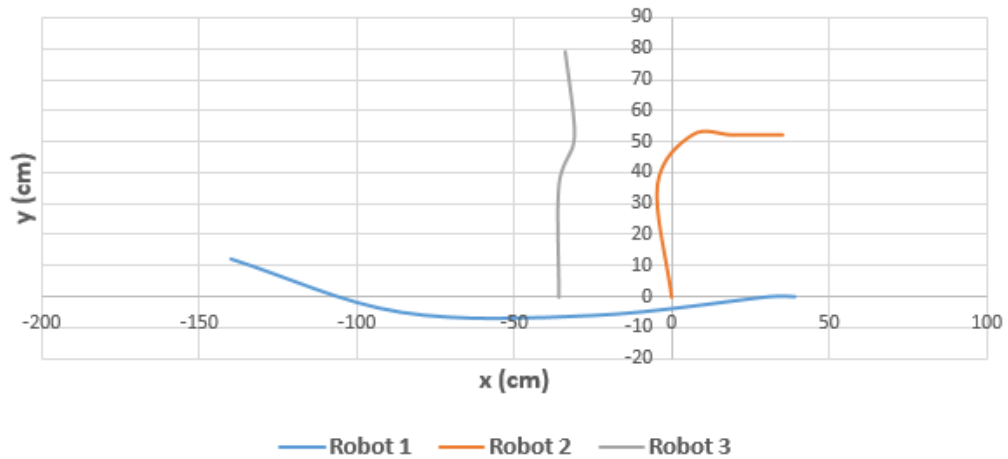


Konfigurasi Formasi Leader-Follower Dari Kelompok Mobile Robot



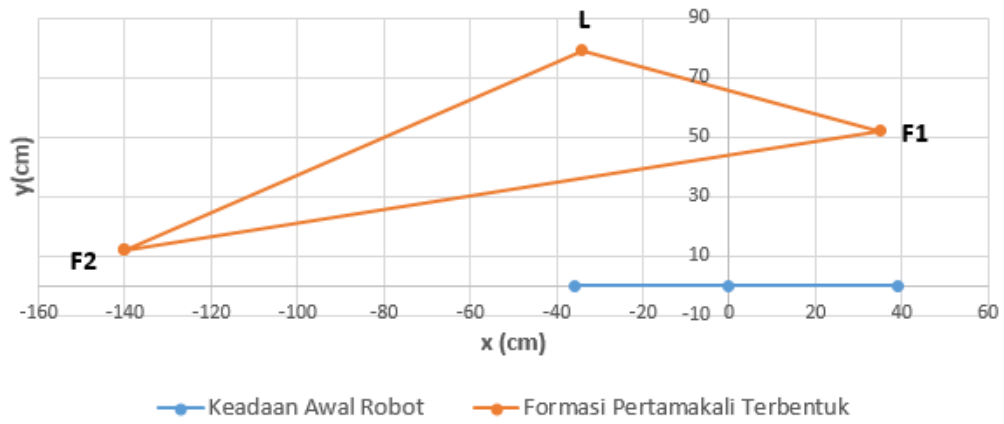
Gambar 4.21 konfigurasi formasi *leader-follower* dari sekelompok *mobile robot* dalam daerah kartesian dengan robot 2 sebagai *leader*.

Lintasan Kelompok Mobile Robot Selama Membentuk Formasi

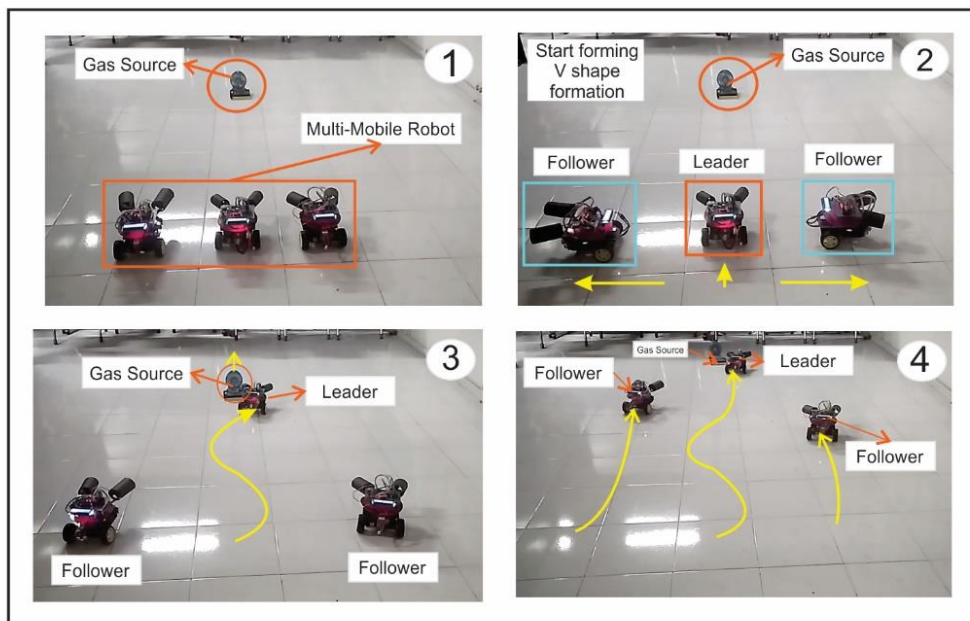


Gambar 4.22 Lintasan kelompok *mobile robot* dengan robot 3 sebagai *leader* selama pencarian sumber gas.

### Konfigurasi Formasi Leader-Follower Dari Kelompok Mobile Robot



Gambar 4.23 konfigurasi formasi *leader-follower* dari sekelompok *mobile robot* dalam daerah kartesian dengan robot 3 sebagai *leader*.



Gambar 4.24 Hasil pengujian *leader-follower multi-mobile robot* ketika mencari sumber gas.

## 4.6 Pengujian Sistem Formasi *Leader-Follower*

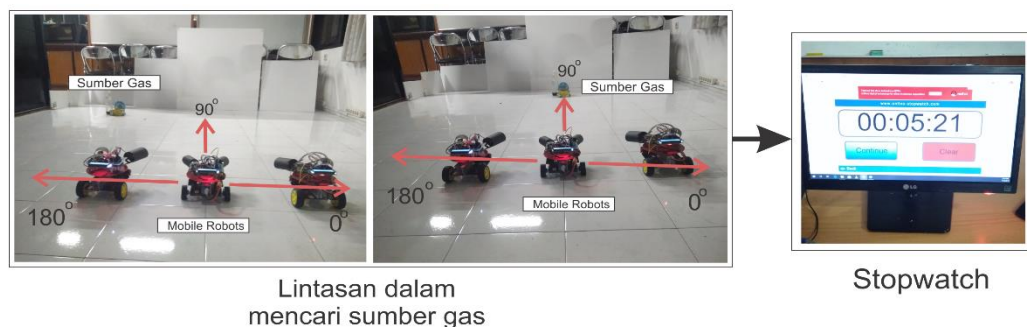
### 4.6.1 Tujuan Pengujian Sistem Formasi *Leader-Follower*

Tujuan dari pengujian formasi *leader-follower multi-mobile robot* yaitu untuk mengetahui tingkat keefektifan menggunakan tiga *mobile robot* yang dapat membentuk formasi dibandingkan dengan hanya menggunakan satu *mobile robot* ketika mencari sumber kebocoran gas. Selain itu, tujuan pengujian formasi yaitu untuk mengetahui presentase tingkat keberhasilan dalam membentuk formasi.

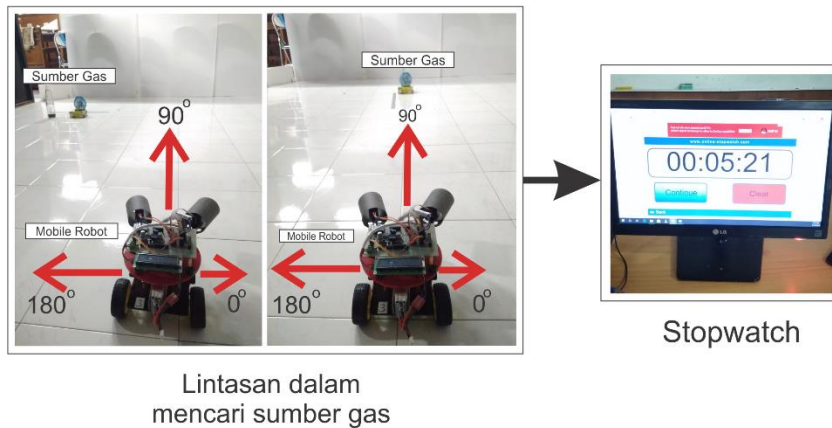
### 4.6.2 Prosedur Pengujian Sistem Formasi *Leader-Follower*

Prosedur pengujian formasi *leader-follower* terlebih dahulu dengan meletakkan tiga *mobile robot* sejajar. Kemudian sumber gas diletakkan pada sudut  $90^\circ$  dan sudut  $114^\circ$ . Kemudian setelah kipas di aktifkan untuk mengarahkan aroma gas maka *mobile robot* mulai mencari sumber gas. Ketika salah satu *mobile robot* mencium aroma gas di udara maka kelompok *mobile robot* mulai memilih pemimpin dan pengikut. Setelah pemimpin terpilih maka sekelompok *mobile robot* mulai membentuk formasi dan menuju sumber gas dengan mempertahankan formasi huruf V seperti ditunjukkan pada Gambar 4.25.

Prosedur pengujian kedua yaitu dengan menggunakan satu *mobile robot* untuk mencari sumber gas yang terletak pada sudut  $90^\circ$  dan sudut  $114^\circ$ . Untuk mencari sumber gas, *mobile robot* dilengkapi dengan algoritma random. Algoritma random bekerja dengan bantuan tiga sensor ultrasonik untuk menghindari dinding atau benda yang berada pada ruangan tempat pengujian dilakukan. Stopwatch digunakan untuk menghitung waktu yang dibutuhkan untuk mencapai sumber gas. pengujian kedua dapat ditunjukkan pada Gambar 4.26.



Gambar 4.25 Pengujian formasi ketika mencari sumber gas



Gambar 4.26 Pengujian satu *mobile robot* ketika mencari sumber gas

#### 4.6.3 Hasil Pengujian Sistem Formasi *Leader-Follower*

Berdasarkan hasil pengujian formasi *leader-follower* dengan sumber gas berada pada sudut  $90^\circ$  dan sudut  $114^\circ$  memiliki tingkat keberhasilan menuju sumber gas masing-masing sebesar 60%. Hasil pengujian formasi *leader-follower* dapat ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9. Percobaan dilakukan sebanyak 5 kali. Tingkat keberhasilan dalam percobaan memiliki dua kriteria yaitu pertama dapat membentuk formasi *leader-follower* dan kedua kelompok *mobile robot* dapat menuju sumber gas dengan mempertahankan formasi. Untuk letak sumber gas pada sudut  $90^\circ$ , tingkat keberhasilan membentuk formasi yaitu sebesar 80% dengan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk membentuk formasi yaitu 109 detik. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke sumber gas yaitu 197 detik. Jarak antara sumber gas dengan kelompok *mobile robot* yaitu 2 meter.

Tabel 4.8 Pengujian formasi *leader-follower* dengan sumber gas berada pada sudut  $90^\circ$

Jarak Sumber Gas ke Mobile Robot (cm)	Percobaan ke-	Waktu Pembentukan Formasi (detik)	Waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke sumber gas (detik)	Keterangan
200	1	88	182	Berhasil
	2	203	-	Gagal
	3	75	216	Berhasil
	4	73	194	Berhasil
	5	-	-	Gagal

Tabel 4.9 Pengujian formasi *leader-follower* dengan sumber gas berada pada sudut 114°

Jarak Sumber Gas ke Mobile Robot (cm)	Percobaan ke-	Waktu Pembentukan Formasi (detik)	Waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke sumber gas (detik)	Keterangan
219	1	222	-	Gagal
	2	-	-	Gagal
	3	229	366	Berhasil
	4	100	298	Berhasil
	5	153	347	Berhasil

Untuk letak sumber gas pada sudut 114°, tingkat keberhasilan membentuk formasi yaitu sebesar 80% dengan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk membentuk formasi yaitu 176 detik. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke sumber gas yaitu 337 detik. Jarak antara sumber gas dengan kelompok mobile robot yaitu 2,19 meter.

Pengujian kedua dilakukan dengan menggunakan satu *mobile robot* dengan sumber gas berada pada sudut 90° dan 114°. Ketika sumber gas berada pada sudut 90°, tingkat keberhasilan menuju sumber gas sebesar 60%. Sedangkan ketika sumber gas berada pada sudut 114°, tingkat keberhasilan menuju sumber gas sebesar 0%. Percobaan dilakukan masing-masing sebanyak 5 kali. Untuk letak sumber gas pada sudut 114°, rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke sumber gas yaitu 278 detik.

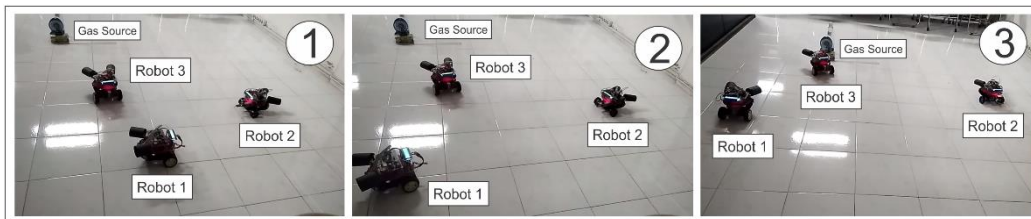
Tabel 4.10 Pengujian *mobile robot* dengan sumber gas berada pada sudut 90°

Jarak Sumber Gas ke Mobile Robot (cm)	Percobaan ke-	Waktu yang dibutuhkan untuk menemukan arah aroma gas (detik)	Waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke sumber gas (detik)	Keterangan
200	1	15	-	Gagal
	2	13	268	Berhasil
	3	5	-	Gagal
	4	8	261	Berhasil
	5	3	307	Berhasil

Tabel 4.11 Pengujian *mobile robot* dengan sumber gas berada pada sudut 114°

Jarak Sumber Gas ke Mobile Robot (cm)	Percobaan ke-	Waktu yang dibutuhkan untuk menemukan arah aroma gas (detik)	Waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke sumber gas (detik)	Keterangan
219	1	-	-	Gagal
	2	-	-	Gagal
	3	127	-	Gagal
	4	172	-	Gagal
	5	289	-	Gagal
	6	81	-	Gagal

Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan tiga *mobile robot* dan satu *mobile robot* dapat disimpulkan bahwa ketika sumber gas berada pada sudut 90°, untuk tiga *mobile robot* dan satu *mobile robot* memiliki tingkat keberhasilan yang sama yaitu 60% akan tetapi waktu yang dibutuhkan untuk menuju sumber gas jika menggunakan satu *mobile robot* lebih lama dibandingkan dengan tiga *mobile robot*. Ketika sumber gas berada pada sudut 114°, dengan menggunakan tiga *mobile robot* memiliki tingkat keberhasilan yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan satu *mobile robot*. Tingkat keberhasilan dengan menggunakan tiga *mobile robot* yaitu 60% sedangkan jika menggunakan satu *mobile robot* yaitu 0%.



Gambar 4. 27 Pengujian formasi *leader-follower* ketika mencari sumber gas pada sudut 114°.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dari penelitian dan penyusunan tesis ini maka dapat disimpulkan bahwa agar tidak terjadi kehilangan arah dari sumber aroma gas maka dibentuk formasi huruf V. Hasil dari penelitian ini yaitu sekelompok *mobile robot* dalam mencari sumber gas dapat membentuk formasi huruf V. Pada pengujian jarak antar *mobile robot* ketika membentuk formasi di dapatkan hasil bahwa kelompok *mobile robot* dapat mempertahankan jarak sebesar 1 meter sampai 2 meter hingga menuju sumber gas. Berdasarkan hasil pengujian formasi dengan menggunakan tiga *mobile robot* dan tanpa formasi dengan menggunakan satu *mobile robot* dapat disimpulkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menuju sumber gas dengan membentuk formasi lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan satu *mobile robot*. Sedangkan tingkat keefektifan jika menggunakan formasi tiga *mobile robot* lebih baik dengan presentase keberhasilan 60% dibandingkan dengan menggunakan satu *mobile robot* dengan presentase keberhasilan sebesar 30%. Sedangkan presentase terbentuknya formasi yaitu 80%.

#### **5.2 Saran**

Penelitian ini dapat diaplikasikan untuk mencari sumber gas. Untuk pengembangan selanjutnya bisa menambahkan LIDAR untuk mendeteksi obstacle di lingkungan. Selain itu ketika membentuk formasi diperlukan modul kompas untuk menentukan arah *heading* dari pemimpin *mobile robot* dan dapat diikuti oleh pengikut dari *mobile robot* sehingga dalam melakukan pergerakan arah *heading* dari *mobile robot* sama. Selain itu dibutuhkan motor DC yang bagus agar bisa melakukan pergerakan dengan kecepatan rendah.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] TAN, Ying., ZHANG, Zhong-yang. Research Advance in Swarm Robotics. China : Key Laboratory of Machine Perception and Intelligence, Ministry of Education, Department of Machine Intelligence, School of Electronics Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing. Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). 2013.
- [2] Miraswan, K. J., Maulidevi, N. U. Particle Swarm Optimization and Fuzzy Logic Control in Gas Leakage Detector Mobile Robot. Bandung : International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology (ICACOMIT).IEEE. 2015.
- [3] Xiao, Hanzhen., Chen, C.L. Philip. Leader Follower Multi-Robot Formation System Using Model Predictive Control Method Based on Particle Swarm Optimization. China : 978-1-5386-2901-7/17, IEEE. 2017.
- [4] Ye, Rong., Lin, Zhangsui., He, Peican., Wang Huaiyuan., Wen, Buying. 2017. Application of PSO Algorithm in Joint Optimization of Wind Power and thermal Power. International Conference on Information Science and Control Engineering. 2017
- [5] Santosa, B., Willy, P. Metoda Metaheuristik, Konsep dan Implementasi. Surabaya: Graha Ilmu. 2011.
- [6] Kamel, Mohamed A., Yu, Xiang., Zhang, Youmin. Real-Time Optimal Formation Reconfiguration of Multiple Wheeled Mobile Robots Based on Particle Swarm Optimization. China: World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA). 2016.
- [7] Nattharith, Panus., Guzel, Mehmet Serdar. An indoor mobile robot development: A low-cost platform for robotics research. Proceedings of the International Electrical Engineering Congress IEEE. 2014.
- [8] Rini, Dian P., Shamsuddin, Siti M., Yuhaniz, Siti S. Particle Swarm Optimization: Technique, System and Challenges. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). 2011.
- [9] Kaur, Avneet., Kaur, Mandeep. A Review of Parameters for Improving the Performance of Particle Swarm Optimization. International Journal of Hybrid Information Technology. 2015.
- [10] A. Benmakhlof., A. Louchene. Simple Fuzzy Logic Based Path Tracking Controller for A Mobile Robot. Journal of Electrical Engineering, [www.jee.ro](http://www.jee.ro).
- [11] Chu, Baeksuk. Mobile Robot Position Control Algorithm Based on Multiple Ultrasonic Distance Sensors. International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2015) in BEXCO, Busan, Korea. 2015.
- [12] Aljabar, A.D. Rizki., Muhammad Rivai. Rancang Bangun Robot Omni Untuk Mencari Sumber Gas Menggunakan Katrol Logika Fuzzy Berbasis

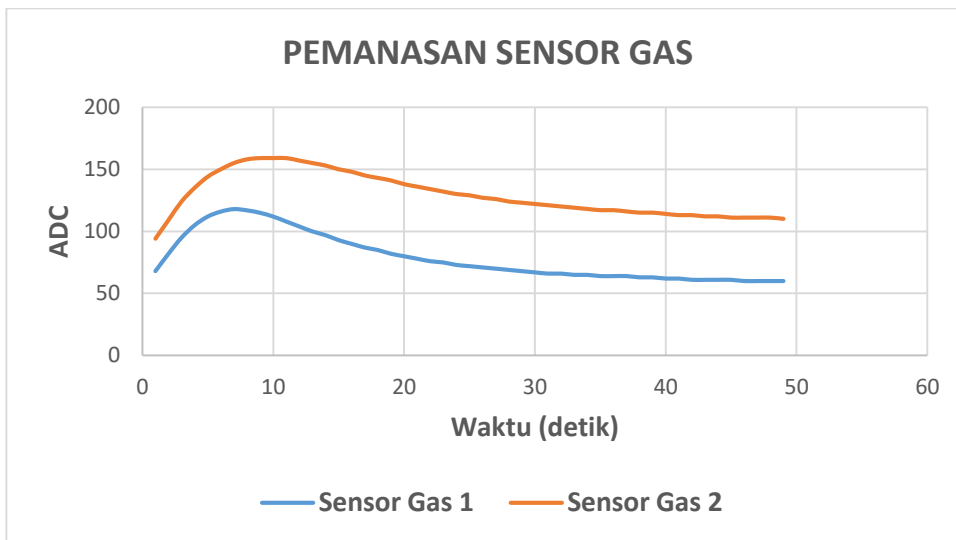
- Mikrpkpntroler ARM STM-32. Surabaya: Tugas Akhir - TE 141599, Fakultas Teknologi Elektro, ITS. 2017.
- [13] Jianwu, Zhang., Lu, Zhang. Research on Distance Measurement Based on RSSI of ZigBee. ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management. IEEE. 2009
- [14] Muhammad Rivai., Rendyansyah., Djoko Purwanto. Implementation of Fuzzy Logic Control in Robot Arm for Searching Location of Gas Leak. International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications, IEEE.2015.
- [15] Dewi Nurhaji Meivita, Muhammad Rivai, Astria Nur Irfansyah. Development of an Electrostatic Air Filtration System Using Fuzzy Logic Control. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, vol. 8, No.4, pp. 1284-1289. 2018.
- [16] Abrori, M., Prihamayu, A.H. Aplikasi Logika Fuzzy Metode Mamdani Dalam Pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Produksi. Kaunia Vol. XI No. 2, Oktober 2015/1436: 91-99. 2015.
- [17] Rashid, R., I. Elamvazuthi., Begam, M., M. Arrofiq. "Fuzzy-based Navigation and Control of a Non-Holonomic Mobile Robot". Journal of Computing, Volume 2, Issue 3, Issn 2151-9617. 2010.

## LAMPIRAN

### 1. Karakteristik Pemanasan Sensor Gas

Waktu(detik)	Sensor Gas			
	Kiri (ADC)	Kanan (ADC)	Kiri (volt)	Kanan (volt)
1	68	94	0.332	0.459
2	82	109	0.401	0.533
3	95	124	0.464	0.606
4	105	135	0.513	0.660
5	112	144	0.547	0.704
6	116	150	0.567	0.733
7	118	155	0.577	0.758
8	117	158	0.572	0.772
9	115	159	0.562	0.777
10	112	159	0.547	0.777
11	108	159	0.528	0.777
12	104	157	0.508	0.767
13	100	155	0.489	0.758
14	97	153	0.474	0.748
15	93	150	0.455	0.733
16	90	148	0.440	0.723
17	87	145	0.425	0.709
18	85	143	0.415	0.699
19	82	141	0.401	0.689
20	80	138	0.391	0.674
21	78	136	0.381	0.665
22	76	134	0.371	0.655
23	75	132	0.367	0.645
24	73	130	0.357	0.635
25	72	129	0.352	0.630
26	71	127	0.347	0.621
27	70	126	0.342	0.616
28	69	124	0.337	0.606
29	68	123	0.332	0.601
30	67	122	0.327	0.596
31	66	121	0.323	0.591
32	66	120	0.323	0.587
33	65	119	0.318	0.582
34	65	118	0.318	0.577
35	64	117	0.313	0.572
36	64	117	0.313	0.572
37	64	116	0.313	0.567

38	63	115	0.308	0.562
39	63	115	0.308	0.562
40	62	114	0.303	0.557
41	62	113	0.303	0.552
42	61	113	0.298	0.552
43	61	112	0.298	0.547
44	61	112	0.298	0.547
45	61	111	0.298	0.543
46	60	111	0.293	0.543
47	60	111	0.293	0.543
48	60	111	0.293	0.543
49	60	110	0.293	0.538



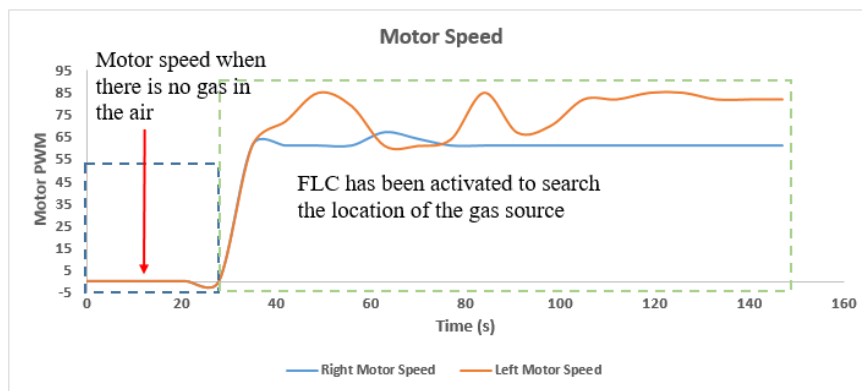
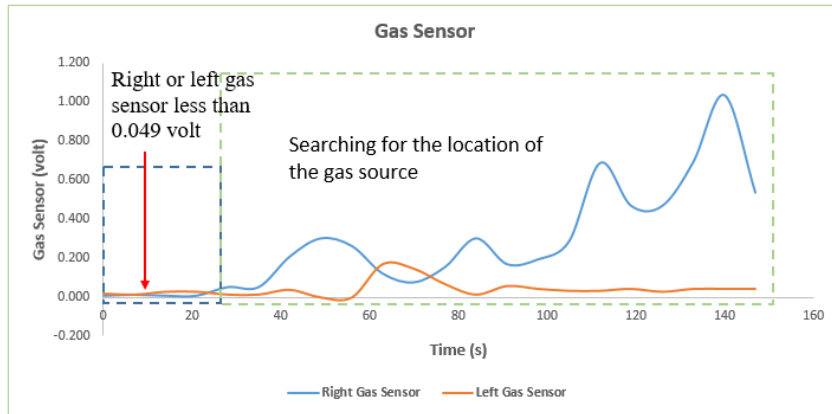
## 2. Keluaran Sensor Gas Terhadap Jarak

Jarak (cm)	Sensor Gas (ADC)					Rata-Rata
	1	2	3	4	5	
10	325	326	331	333	347	332
20	279	283	285	289	293	286
30	234	229	233	241	237	235
40	201	203	201	205	207	203
50	180	181	194	191	198	189
60	169	170	165	169	174	169
70	157	164	153	162	161	159
80	156	157	158	156	149	155
90	151	154	151	147	151	151
100	143	150	141	154	148	147
110	136	138	133	144	140	138

120	134	129	129	134	127	131
130	123	126	128	121	123	124
140	117	126	117	124	117	120
150	99	97	103	107	109	103
Tidak Ada Gas	60	51	56	53	53	55

### 3. Data Fuzzy Logic Control Dengan Sudut Sumber Gas 125°

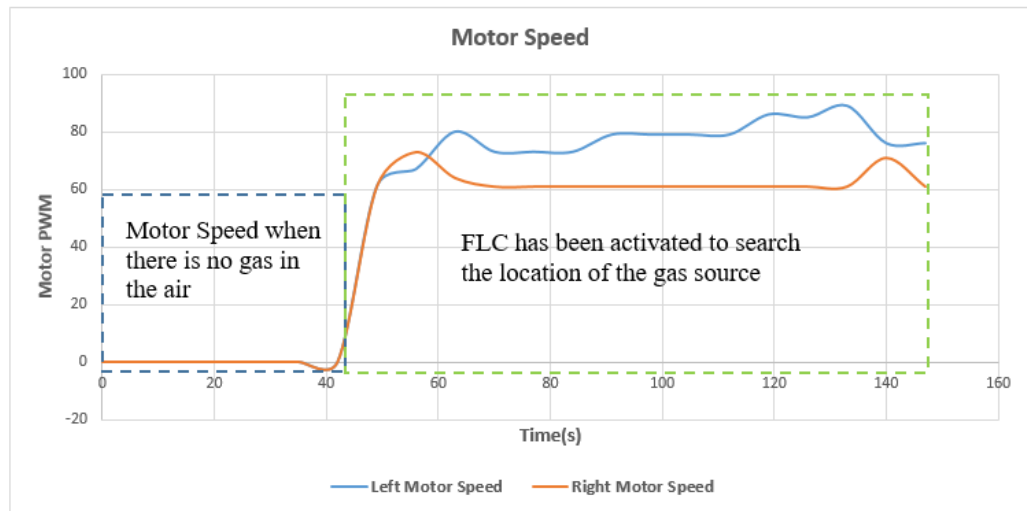
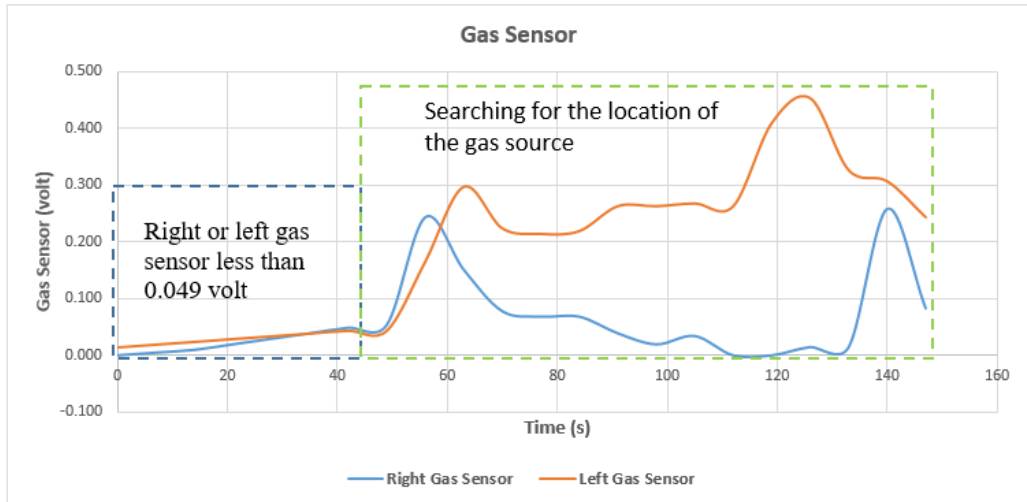
Time (s)	Gas Sensor				Motor PWM	
	Right (ADC)	Left (ADC)	Right (volt)	Left (volt)	Right	Left
0	2	4	0.010	0.020	0	0
7	3	3	0.015	0.015	0	0
14	2	6	0.010	0.029	0	0
21	2	6	0.010	0.029	0	0
28	11	3	0.054	0.015	0	0
35	11	3	0.054	0.015	61	61
42	43	8	0.210	0.039	61	72
49	62	0	0.303	0.000	61	85
56	54	0	0.264	0.000	61	79
63	25	35	0.122	0.171	67	61
70	16	30	0.078	0.147	64	61
77	32	14	0.156	0.068	61	64
84	62	3	0.303	0.015	61	85
91	35	12	0.171	0.059	61	67
98	40	9	0.196	0.044	61	70
105	59	7	0.288	0.034	61	82
112	141	7	0.689	0.034	61	82
119	96	9	0.469	0.044	61	85
126	96	6	0.469	0.029	61	85
133	142	9	0.694	0.044	61	82
140	212	9	1.036	0.044	61	82
147	110	9	0.538	0.044	61	82



#### 4. Data Fuzzy Logic Control Dengan Sudut Sumber Gas 45°

Time (s)	Gas Sensor				PWM Motor	
	Right(ADC)	Left(ADC)	Right(volt)	Left(volt)	Right	Left
0	0	3	0.000	0.015	0	0
7	1	4	0.005	0.020	0	0
14	2	5	0.010	0.024	0	0
21	4	6	0.020	0.029	0	0
28	6	7	0.029	0.034	0	0
35	8	8	0.039	0.039	0	0
42	10	9	0.049	0.044	0	0
49	11	9	0.054	0.044	61	61
56	50	34	0.244	0.166	67	73
63	31	61	0.152	0.298	80	64
70	16	46	0.078	0.225	73	61
77	14	44	0.068	0.215	73	61
84	14	45	0.068	0.220	73	61
91	8	54	0.039	0.264	79	61
98	4	54	0.020	0.264	79	61
105	7	55	0.034	0.269	79	61
112	0	54	0.000	0.264	79	61
119	0	84	0.000	0.411	86	61

126	3	93	0.015	0.455	85	61
133	3	67	0.015	0.327	89	61
140	53	63	0.259	0.308	76	71
147	17	50	0.083	0.244	76	61



## 5. Salah Satu Program Mobile Robot

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include <TimerOne.h>
#include <MOTOR.h>
#include <HCSR04.h>
#include <fuzzy.h>

#define MQ4Pin1 A0
#define MQ4Pin2 A1
#define pinRSSI 4
```

```

#define tampilData 43
#define pushButton 42

MOTOR    robot;
HCSR04   sensorJarak;
fuzzy    flc;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3,
POSITIVE); //0x27

int Adc1MQ2, Adc2MQ2, count=0, var=0, var1=0, var2=0,
var3=0, tresh1ADC=0, tresh2ADC=0, rssi = 0;
char data[5], data1[5], data2[5], data3[5], buff;
int
nilai, nilai1, nilai2, nilai3, n=0, x=0, y=0, z=0, z1=0, rssiRe
f = 0;
int nilaiADC = 0, currentPosition = 0, masterOld = 0;
float jarakXBee;

unsigned long currentTime = 0;
unsigned long loopTime = 0;
const int samplingTime = 1000, samplingTime1 = 30000;
int pwmKanan, pwmKiri, sensorGas1, sensorGas2;

void terimaData();
void kirimData(int dat1, int dat2, int dat3);
int leaderOrFollower (int NilaiADC);
void formationLeader(int mast, int mastOld);

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial1.begin(9600);
    Serial.begin(9600);

    lcd.begin(16,2);
    lcd.backlight();

    pinMode(MQ4Pin1, INPUT);
    pinMode(MQ4Pin2, INPUT);
    pinMode(pinRSSI, INPUT);
    pinMode(tampilData, INPUT_PULLUP);
    pinMode(pushButton, INPUT_PULLUP);

    Timer1.initialize(1000);
    Timer1.attachInterrupt(timerInterruptKu);
}

void timerInterruptKu() {

```



```

    Adc1MQ2 = analogRead(MQ4Pin1);
    Adc2MQ2 = analogRead(MQ4Pin2);

}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  if (digitalRead(tampilData)==HIGH){
    if (digitalRead(pushButton)==LOW){
      count = count + 1;
    }
    robot.berhenti();
    switch(count){
      case 0:
        terimaData();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("R:");
        lcd.setCursor(2,0);
        lcd.print(rssi);
        lcd.setCursor(7,0);
        lcd.print("JR:");
        lcd.setCursor(11,0);
        lcd.print(jarakXBee);
        delay(100);
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("Dt1:");
        lcd.setCursor(4,1);
        lcd.print(nilai);
        lcd.setCursor(7,1);
        lcd.print("Dt2:");
        lcd.setCursor(11,1);
        lcd.print(nilai1);
        delay(100);

        Serial.print("RSSI:");
        Serial.print(rssi);
        Serial.print("\t");
        Serial.print("Data 1 : ");
        Serial.print(nilai);
        Serial.print("\t");
        Serial.print("Data 2 : ");
        Serial.print(nilai1);
        Serial.print("\t");
        Serial.print("Data 2 : ");
        Serial.print(nilai2);
        Serial.print("\t");
        Serial.print("Jarak XBEE : ");
        Serial.print(jarakXBee);

```

```

        Serial.println("  Meter");
        delay(100);
        lcd.clear();
        break;
    case 1: lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("SEND DATA XBEE");
        delay(100);
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("Dt1:");
        lcd.setCursor(4,1);
        lcd.print(2);
        lcd.setCursor(7,1);
        lcd.print("Dt2:");
        lcd.setCursor(11,1);
        lcd.print(Adc1MQ2);
        delay(200);
        kirimData(2,Adc1MQ2,Adc2MQ2);
        lcd.clear();
        break;
    case 2: lcd.setCursor(2,0);
        lcd.print("SENSOR JARAK");
        lcd.setCursor(2,1);
        lcd.print(sensorJarak.distance1());
        lcd.setCursor(7,1);
        lcd.print(sensorJarak.distance2());
        lcd.setCursor(11,1);
        lcd.print(sensorJarak.distance3());
        delay(250);
        lcd.clear();
        break;
    case 3: lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("SENSOR GAS (ADC)");
        lcd.setCursor(4,1);
        lcd.print(Adc1MQ2);
        lcd.setCursor(9,1);
        lcd.print(Adc2MQ2);
        delay(250);
        lcd.clear();
        break;

    case 4: count=0;
        lcd.clear();
        delay(250);
        break;
}
lcd.clear();
} else {
    currentTime = millis();

```

```

if (var == 0){
  if (var1 >= 40){
    var = 1;
    var1 = 1;
    tresh1ADC = Adc1MQ2;
    tresh2ADC = Adc2MQ2;
    loopTime = currentTime;
    //robot.maju(80,80);
    lcd.clear();
  } else {
    if ((currentTime - loopTime) >=
samplingTime ){
      var1++;
      loopTime = currentTime;
      lcd.clear();
      Serial.print(Adc2MQ2);
      Serial.print("\t");
      Serial.print(Adc1MQ2);
      Serial.print("\n");
    }
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("PEMANASAN S.GAS");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("TIMER:");
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print(var1);
  }
} else if (var == 1){
  if (var1 == 0){
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("COMUNICACION TES");
    delay(100);
    sensorGas1 = Adc1MQ2 - tresh1ADC;//Kanan
    sensorGas2 = Adc2MQ2 - tresh2ADC;//Kiri
    if (sensorGas1 < 0){
      sensorGas1 = 0;
    }
    if (sensorGas2 < 0){
      sensorGas2 = 0;
    }
    lcd.setCursor(2,1);
    lcd.print(sensorGas2);
    lcd.setCursor(8,1);
    lcd.print(sensorGas1);
    delay(100);
    while (Serial1.available()>0){
      buff = Serial1.read();
      data[n] = buff;
    }
  }
}

```

```

        n++;
        delay(10);
    }
    if (buff == 'w'){
        lcd.clear();
        //Serial.print(1);
        Serial1.print("A");
        Serial1.print("z");
        delay(2000);
        n = 0; buff = "";
        while (1){
            lcd.setCursor(2,0);
            lcd.print("ROBOT SIAP");
            delay(100);
            lcd.clear();
            while (Serial1.available()>0){
                buff = Serial1.read();
            }
            if (buff == 'z'){
                break;
            }
        }
        //var = 2;
        var1 = 1;
    }
} else if (var1 == 1){
    while (1){
        lcd.setCursor(2,0);
        lcd.print("Tidak Ada");
        lcd.setCursor(1,1);
        lcd.print("Kebocoran Gas");
        delay(100);
        lcd.clear();
        sensorGas1 = Adc1MQ2 -
tresh1ADC;//Kanan
        sensorGas2 = Adc2MQ2 -
tresh2ADC;//Kiri
        if (sensorGas1 < 0){
            sensorGas1 = 0;
        }
        if (sensorGas2 < 0){
            sensorGas2 = 0;
        }
        Serial.print(sensorGas1);
        Serial.print("\t");
        Serial.println(sensorGas2);

        terimaData();
    }
}

```

```

        if (nilai == 4){
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(5,0);
            lcd.print("ADA GAS");
            delay(2500);
            var = 2;
            break;
        } else if (sensorGas1 >= 30 ||
sensorGas2 >= 30){
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(5,0);
            lcd.print("ADA GAS");
            kirimData(4,4,4);
            var = 2;
            break;
        }
        sensorGas1 = 0; sensorGas2 = 0; buff =
"";
    }
    lcd.clear();
} else if (var == 2){
    sensorGas1 = Adc1MQ2 - tresh1ADC;//Kanan
    sensorGas2 = Adc2MQ2 - tresh2ADC;//Kiri
    if (sensorGas1 < 0){
        sensorGas1 = 0;
    }
    if (sensorGas2 < 0){
        sensorGas2 = 0;
    }
    if (((currentTime - loopTime) >= 1000000) ||
var3 == 0){
        currentPosition = 0;
        nilaiADC = sensorGas1 + sensorGas2;
        currentPosition =
leaderOrFollower(nilaiADC);
        //currentPosition = 3;
        formationLeader(currentPosition,
masterOld);
        loopTime = currentTime;
        var3 = 5;
    }
    if (currentPosition == 3){
        lcd.setCursor(3,0);
        lcd.print("LEADER");
        delay(100);
    }
}

```

```

        pwmKanan =
flc.mamdaniMethod(2, sensorGas1, sensorGas2);
        pwmKiri =
flc.mamdaniMethod(1, sensorGas1, sensorGas2);
        delay(100);
        kirimData(6, pwmKanan, pwmKiri);
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(pwmKiri);
        lcd.setCursor(7, 1);
        lcd.print(pwmKanan);
        delay(100);

        robot.maju(pwmKiri, pwmKanan);
        delay(200);
        robot.berhenti();
        delay(8000);
        lcd.clear();
    }else {
        lcd.setCursor(3, 0);
        lcd.print("FOLLOWER");
        delay(100);
        terimaData();
        delay(100);
        if (nilai == 7){
            pwmKanan = nilai1;
            pwmKiri = nilai2;
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print(pwmKiri);
            lcd.setCursor(7, 1);
            lcd.print(pwmKanan);
            delay(100);
            robot.maju(pwmKiri+5, pwmKanan);
            delay(300);
            robot.berhenti();
            delay(8000);
        }
        lcd.clear();
    }
}
}
}
}

```

## BIOGRAFI PENULIS



**Sirojul Hadi** dilahirkan di Lombok Tengah, 13 Maret 1994. Merupakan anak kedua dari empat bersaudara pasangan Bapak Sahabudin, S.IP dan Siti Maemanah. Penulis memulai pendidikan di SD Negeri Tapon Lombok Tengah, lalu melanjutkan di MTs Negeri 3 Mataram. Penulis menempuh jenjang pendidikan di MA Negeri 2 Mataram. Pada tahun 2012 penulis menempuh pendidikan sarjana di Universitas Brawijaya Malang. Setelah menyelesaikan studi di tahap sarjana, pada tahun 2017 penulis meneruskan pendidikan di Program Magister Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan memilih bidang keahlian Elektronika Industri.

e-mail : [sirojuhadi13@gmail.com](mailto:sirojuhadi13@gmail.com)

Hp.: 0859 5439 5405