BAB IV

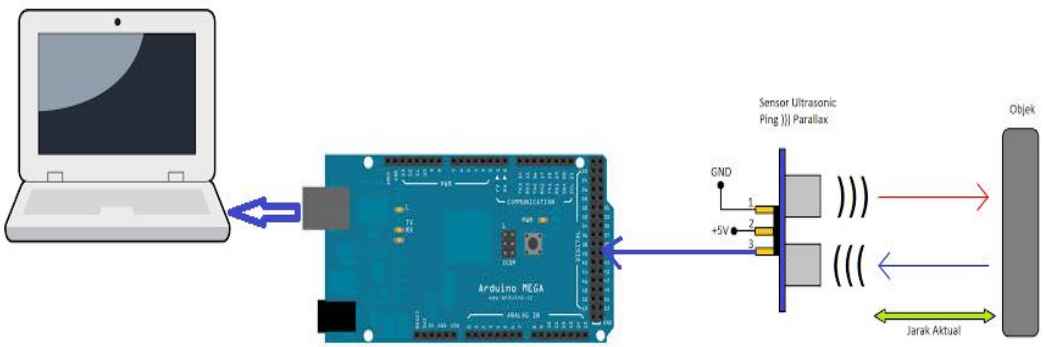
PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini akan membahas tentang pengujian dan analisa dari sistem yang dibuat, yaitu sebagai berikut.

4.1. Pengujian Sensor Ultrasonik

Prinsip kerja sebuah modul sensor ultrasonik yaitu mendeteksi objek dengan cara mengirimkan gelombang ultrasonik dan kemudian menerima pantulan gelombang tersebut. Sensor ultrasonik hanya akan mengirimkan gelombang ultrasonik ketika ada pulsa trigger dari mikrokontroler (pulsa high selama 5µS).

Gelombang ultrasonik dengan frekuensi 40 KHz akan dipancarkan selama 200µS. Gelombang ini akan merambat di udara dengan kecepatan 344,424m/detik (1 cm setiap 29,034µS) mengenai objek untuk kemudian terpantul kembali ke sensor ultrasonik. Berikut ini merupakan gambar pengujian sensor ultrasonik.



Gambar 4.1 Pengujian Sensor Ultrasonik

Dari pengujian sensor ultrasonik didapat data pengujian sebagai berikut.

Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik dengan Jarak Sebenarnya

Pengukuran Ke	Jarak Sebenarnya (cm)	Hasil Pengujian Sensor		
		Ping 1 (cm)	Ping 2 (cm)	Ping 3 (cm)
1	1	2	2	2
2	2	2	2	2
3	3	3	3	3
4	4	4	4	4
5	5	5	5	5
6	6	6	6	6
7	7	7	7	7
8	8	8	8	8
9	9	9	9	9
10	10	10	10	10
11	20	20	20	20
12	30	30	30	30
13	40	39	39	39
14	50	49	49	49
15	60	59	59	59
16	70	69	69	69
17	80	79	79	79
18	90	89	89	89
19	100	99	99	99
20	110	109	109	109
21	120	119	119	119
22	130	129	129	129
23	140	139	139	139
24	150	149	149	149

Berdasarkan hasil pengujian di atas, dapat dihitung kesalahan mutlak (*absolute error*) antara hasil pengujian sensor terhadap jarak sebenarnya dengan perhitungan sebagai berikut.

$Absolute\ error_1 = |2-1| = 1$ cm
$Absolute\ error_2 = |2-2| = 0$ cm
$Absolute\ error_3 = |3-3| = 0$ cm
$Absolute\ error_4 = |4-4| = 0$ cm
$Absolute\ error_5 = |5-5| = 0$ cm
$Absolute\ error_6 = |6-6| = 0$ cm
$Absolute\ error_7 = |7-7| = 0$ cm
$Absolute\ error_8 = |8-8| = 0$ cm
$Absolute\ error_9 = |9-9| = 0$ cm
$Absolute\ error_{10} = |10-10| = 0$ cm
$Absolute\ error_{11} = |20-20| = 0$ cm
$Absolute\ error_{12} = |30-30| = 0$ cm
$Absolute\ error_{13} = |39-40| = 1$ cm
$Absolute\ error_{14} = |49-50| = 1$ cm
$Absolute\ error_{15} = |59-60| = 1$ cm
$Absolute\ error_{16} = |69-70| = 1$ cm
$Absolute\ error_{17} = |79-80| = 1$ cm
$Absolute\ error_{18} = |89-90| = 1$ cm
$Absolute\ error_{19} = |99-100| = 1$ cm
$Absolute\ error_{20} = |109-110| = 1$ cm
$Absolute\ error_{21} = |119-120| = 1$ cm
$Absolute\ error_{22} = |129-130| = 1$ cm
$Absolute\ error_{23} = |139-140| = 1$ cm
$Absolute\ error_{24} = |149-150| = 1$ cm

Dari nilai kesalahan mutlak yang didapat, maka dapat dihitung kesalahan rata-rata dengan perhitungan sebagai berikut.

$$Error_{rata\text{-}rata} = \frac{1+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+1+1+1+1+1+1+1+1+1+1+1+1}{24} = \frac{12}{24} = 0{,}5$$

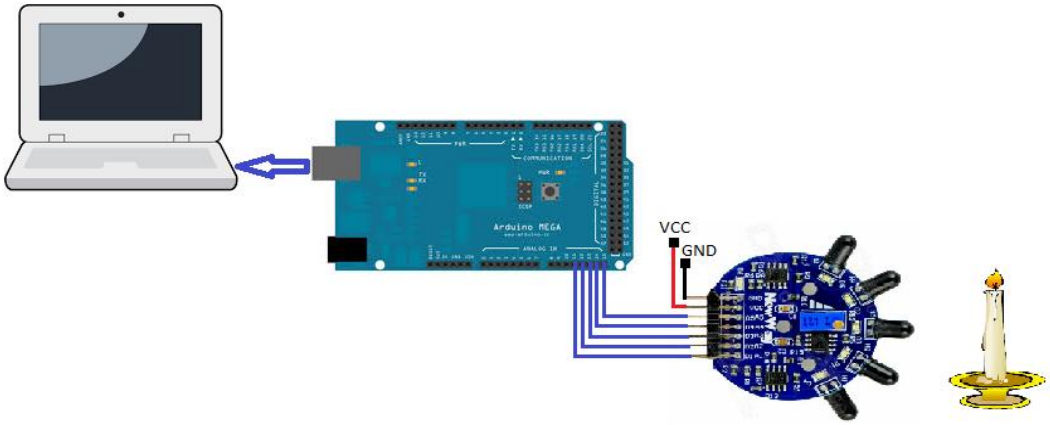
Dari hasil perhitungan di atas, maka kesalahan rata-rata dari pengukuran ultrasonik adalah sebesar 0,5 cm. Hal ini dapat berpengaruh terhadap kepresisian sensor ultrasonik saat mengukur jarak dinding, misalnya robot berjarak 6 cm dari dinding ada kemungkinan yang terbaca adalah 5,5 cm atau 6,5 cm.

4.2. Pengujian *Flame Sensor Modul*

Sensor ini merupakan jenis sensor yang digunakan untuk mendeteksi api jarak dekat. Sensor ini sangat sensitive terhadap cahaya dengan panjang gelombang 760-1100 nm. Pengujian dilakukan dengan cara meletakkan sumber api di depan flame sensor modul dengan jarak yang berbeda-beda antara 1 cm – 30 cm. Apabila pembacaan analog lebih dari sama dengan 1000, maka api terdeteksi. Untuk menkonversi nilai analog menjadi nilai digital, maka dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut.

$$1000\ x\ \frac{5\ volt}{1023} = 4{,}888\ volt$$

Berikut merupakan gambar pengujian *flame sensor*.



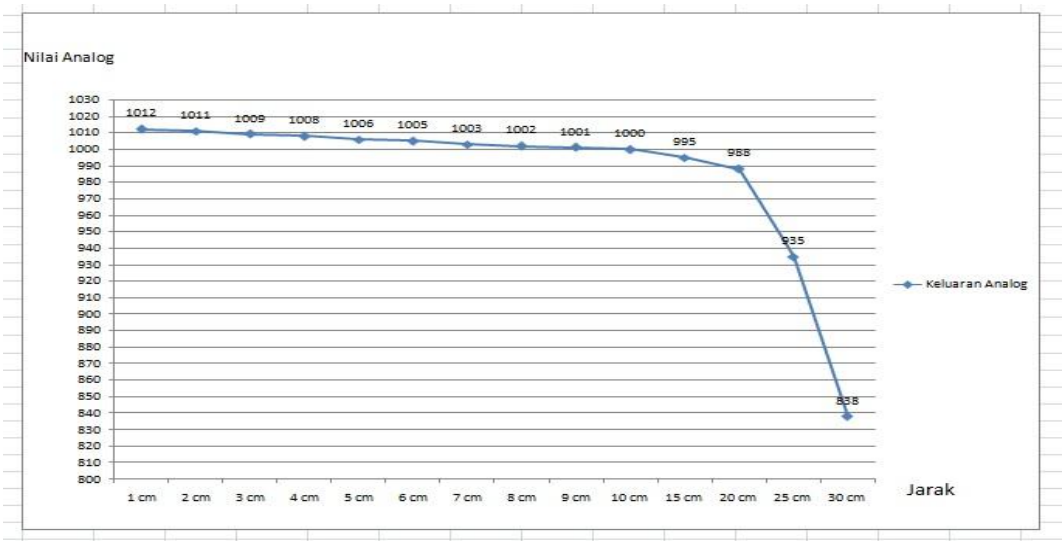
Gambar 4.2 Pengujian *Flame Sensor*

Dari pengujian *flame sensor* didapat hasil pengujian sebagai berikut.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Flame Sensor Modul

Pengujian Ke	Jarak (cm)	Nilai Pembacaan Analog	Status
1	1	1012 (4,946 volt)	Api Terdeteksi
2	2	1011 (4,941 volt)	Api Terdeteksi
3	3	1009 (4,931 volt)	Api Terdeteksi
4	4	1008 (4,927 volt)	Api Terdeteksi
5	5	1006 (4,917 volt)	Api Terdeteksi
6	6	1005 (4,912 volt)	Api Terdeteksi
7	7	1003 (4,902 volt)	Api Terdeteksi
8	8	1002 (4,897 volt)	Api Terdeteksi
9	9	1001 (4,892 volt)	Api Terdeteksi
10	10	1000 (4,888 volt)	Api Terdeteksi
11	15	995 (4,863 volt)	Api tidak terdeteksi
12	20	988 (4,829 volt)	Api tidak terdeteksi
13	25	935 (4,569 volt)	Api tidak terdeteksi
14	30	838 (4,096 volt)	Api tidak terdeteksi

Dari tabel 4.2, dapat dibuat kurva karakteristik kerja flame sensor sebagai berikut.



Gambar 4.3 Kurva Karakteristik Kerja *Flame Sensor*

Dari kurva di atas dapat dilihat, bahwa semakin jauh jarak api dengan sensor, maka nilai pembacaan analog terus menurun. Berdasarkan tabel pengujian, maka dimungkinkan sensor dapat mendeteksi api saat pembacaan analog menunjukkan nilai lebih dari 1000 (4,888 volt). Sehingga terbukti bahwa *flame sensor* merupakan sensor yang hanya mampu mendeteksi api dengan jarak yang dekat.

4.3. Pengujian *Driver* Motor DC L298

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah *driver* motor yang digunakan mampu meneruskan perintah dari mikrokontroler untuk mengendalikan arah putaran motor. *Driver* motor yang digunakan adalah *driver* motor L298.

Dengan memberikan logika yang tepat akan menentukan arah putaran motor. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan masukan nilai PWM

yang sama untuk kedua motor, kemudian mengamati langsung arah putaran motor DC. Hasil dari pengujian arah putaran motor DC ditunjukkan oleh tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pengujian Arah Putaran Motor DC

Motor Kanan		**Motor Kiri**		**Masukan Nilai PWM**		**Arah Putaran**		**Arah Gerak Robot**
Pin 6	**Pin 5**	**Pin 4**	**Pin 3**	**Motor Kanan**	**Motor Kiri**	**Motor Kanan**	**Motor Kiri**	
High	Low	High	Low	50	50	Maju	Maju	Maju lurus
High	Low	Low	High			Maju	Mundur	Belok kiri
Low	High	High	Low			Mundur	Maju	Belok kanan
Low	High	Low	High			Mudur	Mudur	Mundur lurus

Dari tabel hasil pengujian arah putaran motor DC dengan menggunakan *driver* motor L298 di atas dapat dinyatakan, bahwa *driver* motor tersebut dapat berfungsi sesuai dengan perintah logika yang diberikan oleh mikrokontroler dengan nilai PWM sebesar 50.

4.4. Pengujian *Tuning* Kendali PID

Dalam penelitian ini robot yang dibuat harus memiliki kemampuan bergerak secara otomatis, artinya robot dapat bergerak menelusuri dinding tanpa bantuan manusia. Agar robot dapat bergerak secara otomatis, dibutuhkan pengendali yang tepat agar kemampuan robot dalam menelusuri dinding dapat berjalan dengan baik.

Sistem kendali yang digunakan pada robot ini adalah sistem kendali *loop* tertutup (*closed loop control system*). Pada sistem ini keluaran dari pengontrol akan mempengaruhi aksil pengontrolan. Pengendali yang digunakan adalah Kendali Proporsional, Integral dan Derivatif (Kendali PID). Untuk menggunakan Kendali PID, terlebih dahulu harus ditentukan konstanta parameter melalui proses penalaan (*Tuning*). Proses *Tuning* yang dilakukan menggunakan metode *trial and*

error, yaitu proses pencarian konstanta yang dilakukan dengan cara melakukan percobaan berkali-kali sampai ditemukan hasil yang mendekati kesetabilan pergerakan robot. Hasil pengujian Kendali Proposional ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian *Tuning* Kendali PID

Kp	Ki	Kd	Kondisi Robot
0	0	0	Respon lambat dan berosilasi
1	0	0	Respon lambat dan berosilasi
2	0	1	Respon lambat dan osilasi menurun
3	**0**	**1**	**Respon sedang dan osilasi rendah**
4	0	1	Respon tinggi dan osilasi tinggi

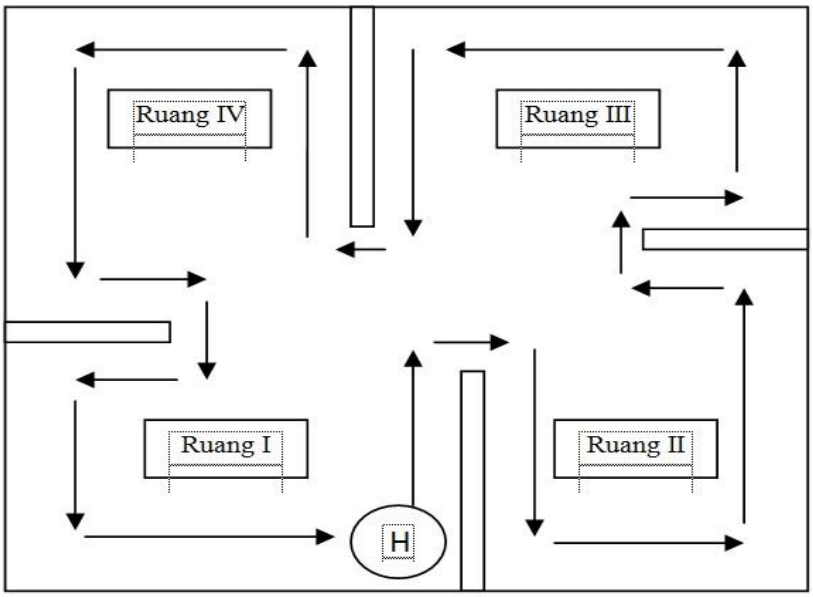
Dari hasil *tuning* yang telah dilakukan dapat dihitung bahwa meningkatkan nilai Kp berpengaruh terhadap respon sistem. Hal ini sesuai dengan karakteristik pengontrol proporsional, yaitu meningkatkan nilai proporsional dapat membuat respon sistem semakin cepat mencapai keadaan mantap dan jika nilai proporsional dinaikan sampai harga yang berlebihan akan mengakibatkan sistem berosilasi.

Dari hasil *tuning* juga dapat diketahui bahwa untuk menurukan osilasi yang disebabkan oleh pengontrol proporsional, maka dibutuhkan pengontrol derivatif. Hal ini sesuai dengan karakteristik pengontrol derivatif, yaitu memberikan efek redaman terhadap sistem yang berosilasi.

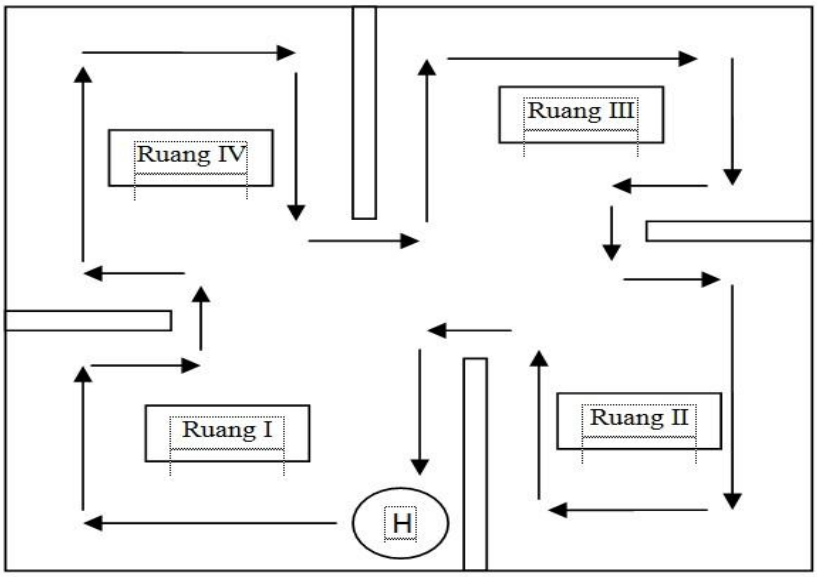
4.5. Pengujian Robot Telusur Dinding

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase keberhasilan robot menelusuri dinding. Sebagai indikator keberhasilan robot menelusuri dinding, maka data hasil pengamatan dalam bentuk tabel yang meliputi waktu yang diperlukan robot untuk menelusuri dinding dalam satu kali putaran, kemudian berapa banyak robot mengalami benturan dengan dinding.

Arena pengujian robot menelusuri dinding kanan dan kiri dapat diilustrasikan pada gambar 4.42 dan gambar 4.43. Pada gambar tersebut terdapat huruf “H” yang merupakan posisi awal robot. Tanda panah menunjukkan arah pergerakkan robot, di mana robot mulai bergerak dari titik “H” dan kembali lagi ke titik “H”.



Gambar 4.4 Ilustrasi Robot Telusur Dinding Kanan



Gambar 4.5 Ilustrasi Robot Telusur Dinding Kiri

Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel perbandingan robot bergerak menelusuri dinding dengan kendali PID dan tanpa kendali PID.

Tabel 4.5 Perbandingan Metode Telusur Dinding Kanan dengan PID dan Tanpa PID

Menggunakan PID			**Tanpa PID**		
Pengujian Ke-	**Benturan**	**Waktu (detik)**	**Pengujian Ke-**	**Benturan**	**Waktu (detik)**
1	0	42,17	1	6	98,11
2	0	45,08	2	5	96,59
3	0	44,56	3	6	98,44
4	0	43,59	4	8	99,01
5	1	45,55	5	4	96,23
6	0	51,46	6	5	95,59
7	1	42,46	7	9	100,06
8	1	44,21	8	7	99,34
9	0	44,15	9	7	99,40
10	0	47,46	10	5	96,55
Jumlah	**3**	**450,69**	Jumlah	**62**	**979,32**

Tabel 4.6 Perbandingan Metode Telusur Dinding Kiri dengan PID dan Tanpa PID

Menggunakan PID			**Tanpa PID**		
Pengujian Ke-	**Benturan**	**Waktu (detik)**	**Pengujian Ke-**	**Benturan**	**Waktu (detik)**
1	0	43,19	1	4	74,59
2	0	43,50	2	7	88,44
3	0	42,54	3	5	75,05
4	0	44,50	4	7	80,58
5	0	42,49	5	4	73,40
6	1	42,28	6	8	88,59
7	1	44,46	7	5	77,15
8	0	42,21	8	7	80,40
9	0	44,01	9	6	84,55
10	0	42,25	10	6	84,25
Jumlah	**2**	**431,43**	**Jumlah**	**59**	**807**

Dari hasil pengujian tabel 4.5, robot menelusuri dinding kanan dengan kendali PID di atas, dapat dihitung waktu rata-rata robot bergerak menelusuri dinding dari posisi awal, kemudian kembali ke posisi awal bergerak dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut.

$$waktu\ rata - rata = \frac{450{,}69\ detik}{10} = 45{,}06\ detik$$

Dari hasil pengujian tabel 4.5, robot menelusuri dinding kanan tanpa kendali PID di atas, dapat dihitung waktu rata-rata robot bergerak menelusuri dinding dari posisi awal, kemudian kembali ke posisi awal bergerak dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut.

$$waktu\ rata - rata = \frac{979{,}32\ detik}{10} = 97{,}93\ detik$$

Dari hasil pengujian tabel 4.6, robot menelusuri dinding dengan kendali PID di atas, dapat dihitung waktu rata-rata robot bergerak menelusuri dinding dari posisi awal, kemudian kembali ke posisi awal bergerak dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut.

$$waktu\ rata - rata = \frac{431{,}43\ detik}{10} = 43{,}14\ detik$$

Dari hasil pengujian tabel 4.6, robot menelusuri dinding tanpa kendali PID di atas, dapat dihitung waktu rata-rata robot bergerak menelusuri dinding dari posisi awal, kemudian kembali ke posisi awal bergerak dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut.

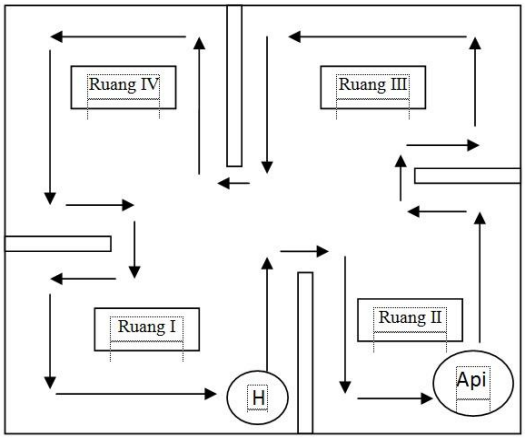
$$waktu\ rata - rata = \frac{807\ detik}{10} = 80{,}70\ detik$$

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat dinyatakan, bahwa robot dengan pengendali PID memiliki waktu yang lebih cepat dalam melakukan penelusuran dinding dibandingkan dengan robot tanpa kendali PID. Salah satu penyebab dari lamanya waktu tempuh pada robot tanpa kendali PID adalah pergerakan robot yang tidak stabil, sehingga mengakibatkan robot mengalami banyak benturan dengan dinding.

4.6. Pengujian Robot Mencari Target

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase keberhasilan robot dalam mencapai target, baik dengan metode telusur dinding kanan maupun dengan metode telusur dinding kiri.

Pengujian robot dalam mencari target di ruang II dengan metode telusur dinding kanan dapat diilustrasikan dengan gambar berikut.



Gambar 4.6 Ilustrasi Robot Mencari Target di Ruang II dengan Metode Telusur Dinding Kanan

Hasil dari pengujian dapat dihitung pada tabel berikut.

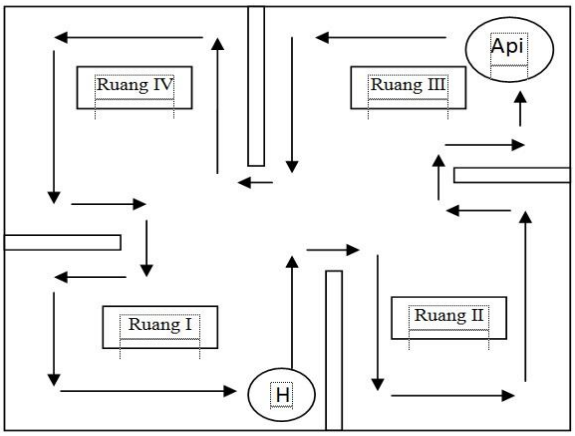
Tabel 4.7 Pengujian Mencari Target dengan Telusur Dinding Kanan di Ruangan II

Pengujian Ke-	Waktu Telusur (detik)	Deteksi Api	Keterangan
1	09,13	Ya	Berhasil
2	10,59	Ya	Berhasil
3	09,04	Ya	Berhasil
4	08,22	Ya	Berhasil
5	08,53	Ya	Berhasil
6	08,34	Ya	Berhasil
7	11,25	Ya	Berhasil
8	07,52	Ya	Berhasil
9	07,53	Ya	Berhasil
10	08,58	Ya	Berhasil

Dari data hasil pengujian pada tabel di atas, dapat dihitung persentase keberhasilan robot dalam mencapai target dengan perhitungan sebagai berikut.

$$Persentase\ keberhasilan = \frac{10}{10} \times 100\ \% = 100\ \%$$

Pengujian robot dalam mencari target di ruang III dengan metode telusur dinding kanan dapat diilustrasikan dengan gambar berikut.



Gambar 4.7 Ilustrasi Robot Mencari Target di Ruang III dengan Metode Telusur Dinding Kanan

Hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

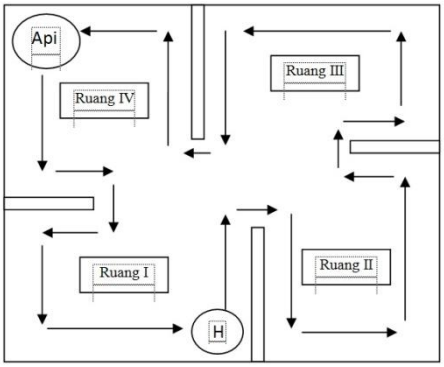
Tabel 4.8 Pengujian Mencari Target dengan Telusur Dinding Kanan di Ruangan III

Pengujian Ke-	Waktu Telusur (detik)	Deteksi Api	Keterangan
1	18,51	Ya	Berhasil
2	19,59	Ya	Berhasil
3	-	Tidak	Membentur dinding
4	23,59	Ya	Berhasil
5	25,56	Ya	Berhasil
6	24,08	Ya	Berhasil
7	-	Tidak	Membentur dinding
8	18,44	Ya	Berhasil
9	-	Tidak	Api tidak terdeteksi
10	18,38	Ya	Berhasil

Dari data hasil pengujian pada tabel di atas, dapat dihitung persentase keberhasilan robot dalam mencapai target dengan perhitungan sebagai berikut[26].

$$Persentase\ keberhasilan = \frac{7}{10} \times 100\ \% = 70\ \%$$

Pengujian robot dalam mencari target di ruang IV dengan metode telusur dinding kanan dapat diilustrasikan dengan gambar berikut.



Gambar 4.8 Ilustrasi Robot Mencari Target di Ruang IV dengan Metode Telusur Dinding Kanan

Hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

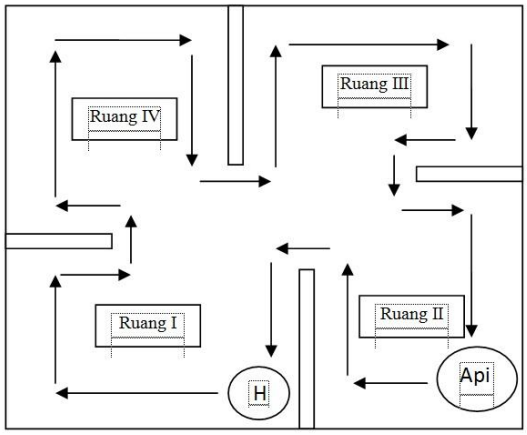
Tabel 4.9 Pengujian Mencari Target dengan Telusur Dinding Kanan di Ruangan IV

Pengujian Ke-	Waktu Telusur (detik)	Deteksi Api	Keterangan
1	-	Tidak	Api tidak terdeteksi
2	29,55	Ya	Berhasil
3	-	Tidak	Membentur dinding
4	29,08	Ya	Berhasil
5	28,09	Ya	Berhasil
6	28,15	Ya	Berhasil
7	30,57	Ya	Berhasil
8	-	Tidak	Membentur dinding
9	31,32	Ya	Berhasil
10	34,25	Ya	Berhasil

Dari data hasil pengujian pada tabel di atas, dapat dihitung tingkat keberhasilan robot dalam mencapai target dengan perhitungan sebagai berikut.

$$Persentase\ keberhasilan = \frac{7}{10} \times 100\ \% = 70\ \%$$

Pengujian robot dalam mencari target di ruang II dengan metode telusur dinding kiri dapat diilustrasikan dengan gambar berikut.



Gambar 4.9 Ilustrasi Robot Mencari Target di Ruang II dengan Metode Telusur Dinding Kiri

Hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

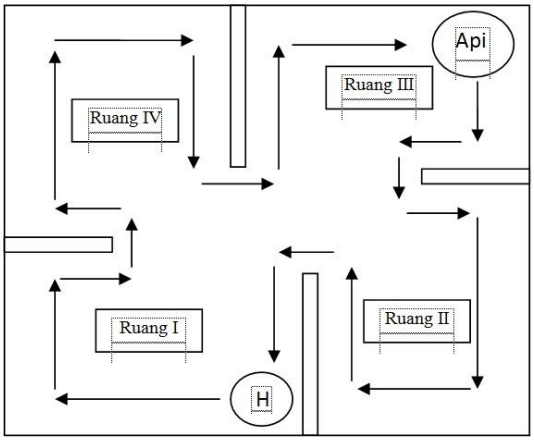
Tabel 4.10 Pengujian Mencari Target dengan Telusur Dinding Kiri di Ruangan II

Pengujian Ke-	Waktu Telusur (detik)	Deteksi Api	Keterangan
1	-	Tidak	Membentur dinding
2	28,14	Ya	Berhasil
3	26,46	Ya	Berhasil
4	-	Tidak	Membentur dinding
5	28,56	Ya	Berhasil
6	30,09	Ya	Berhasil
7	-	Tidak	Membentur dinding
8	24,45	Ya	Berhasil
9	-	Tidak	Membentur dinding
10	29,36	Ya	Berhasil

Dari data hasil pengujian pada tabel di atas, dapat dihitung persentase keberhasilan robot dalam mencapai target dengan perhitungan sebagai berikut.

$$Persentase\ keberhasilan = \frac{6}{10} \times 100\ \% = 60\ \%$$

Pengujian robot dalam mencari target di ruang III dengan metode telusur dinding kiri dapat diilustrasikan dengan gambar berikut.



Gambar 4.10 Ilustrasi Robot Mencari Target di Ruang III dengan Metode Telusur Dinding Kiri

Hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

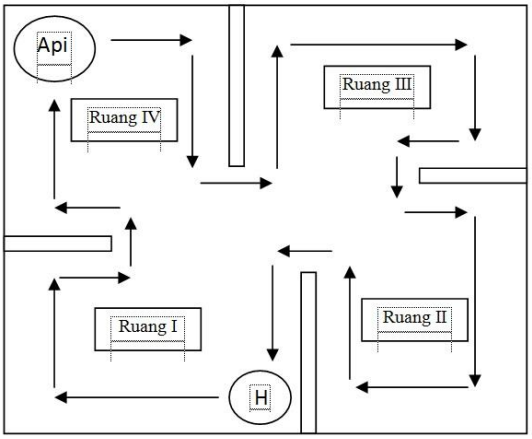
Tabel 4.11 Pengujian Mencari Target dengan Telusur Dinding Kiri di Ruangan III

Pengujian Ke-	Waktu Telusur (detik)	Deteksi Api	Keterangan
1	20,02	Ya	Berhasil
2	21,27	Ya	Berhasil
3	20,18	Ya	Berhasil
4	18,59	Ya	Berhasil
5	19,58	Ya	Berhasil
6	-	Tidak	Api tidak terdeteksi
7	-	Tidak	Membentur dinding
8	18,44	Ya	Berhasil
9	-	Tidak	Membentur dinding
10	19,35	Ya	Berhasil

Dari data hasil pengujian pada tabel di atas, dapat dihitung tingkat keberhasilan robot dalam mencapai target dengan perhitungan sebagai berikut.

$$Persentase\ keberhasilan = \frac{7}{10} \times 100\ \% = 70\ \%$$

Pengujian robot dalam mencari target di ruang II dengan metode telusur dinding kiri dapat diilustrasikan dengan gambar berikut.



Gambar 4.11 Ilustrasi Robot Mencari Target di Ruang IV dengan Metode Telusur Dinding Kiri

Hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.12 Pengujian Mencari Target dengan Telusur Dinding Kiri di Ruangan IV

Pengujian Ke-	Waktu Telusur (detik)	Deteksi Api	Keterangan
1	11,36	Ya	Berhasil
2	10,30	Ya	Berhasil
3	09,27	Ya	Berhasil
4	10,19	Ya	Berhasil
5	09,30	Ya	Berhasil
6	10,40	Ya	Berhasil
7	10,16	Ya	Berhasil
8	08,34	Ya	Berhasil
9	09,59	Ya	Berhasil
10	10,56	Ya	Berhasil

Dari data hasil pengujian pada tabel di atas, dapat dihitung persentase keberhasilan robot dalam mencapai target dengan perhitungan sebagai berikut.

$$Persentase\ keberhasilan = \frac{10}{10} \times 100\ \% = 100\ \%$$

Dari pengujian di atas, diperoleh data persentase keseluruhan sebagai berikut.

Tabel 4.13 Persentase Keberhasilan Keseluruhan

No	Pengujian	Persentase Keberhasilan
1	Pengujian di ruang II Telusur kanan	100%
2	Pengujian di ruang III Telusur kanan	70%
3	Pengujian di ruang IV Telusur kanan	70%
4	Pengujian di ruang II Telusur kiri	60%
5	Pengujian di ruang III Telusur kiri	70%
6	Pengujian di ruang IV Telusur kiri	100%

Dari hasil pengujian di atas dapat dinyatakan, bahwa semakin jauh target api yang akan dideteksi, maka persentase keberhasilannya semakin menurun, baik menggunakan metode telusur kanan atau telusur kiri. Hal ini disebabkan karena *flame sensor* yang digunakan memiliki kelemahan, yaitu tidak mampu membedakan cahaya matahari dan cahaya api. Untuk meminimalisir kesalahan pembacaan sensor, maka sensor hanya akan mendeteksi saat nilai analog lebih dari sama dengan 1000 (4,888 volt). Selain itu jarak yang semakin jauh dengan jumlah rintangan/halangan yang semakin banyak membuat kesetabilan robot menurun.

Persentase keberhasilan rata-rata dari pengujian robot mencapai dan mendeteksi target dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut.

$$Persentase\ Keberhasilan\ rata-rata\ telusur\ kanan = \frac{100\% + 70\% + 70\%}{3} = 80\%$$

$$Persentase\ Keberhasilan\ rata-rata\ telusur\ kiri = \frac{60\% + 70\% + 100\%}{3} = 76{,}667\%$$