

BAB 4

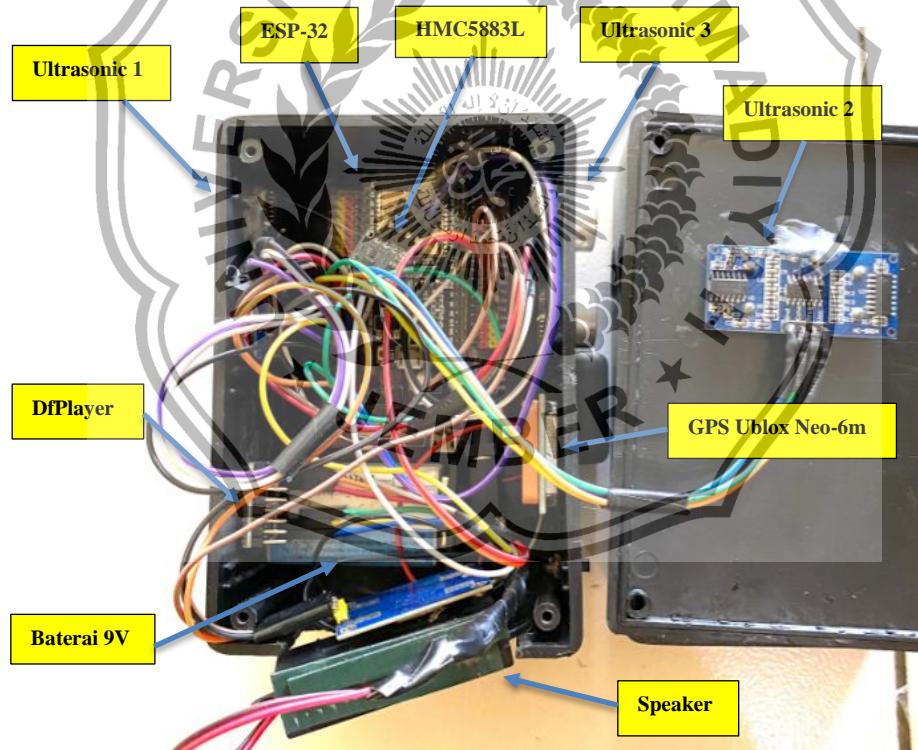
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan *Hardware*

Hasil perancangan perangkat keras (*hardware*) pada penelitian ini telah diwujudkan menjadi sebuah alat fungsional yang siap untuk diuji, dimana komponen seperti mikrokontroler ESP-32 Dev Module yang berfungsi sebagai unit pemrosesan utama, mengintegrasikan berbagai komponen input dan output menjadi satu sistem fungsional. Untuk mengumpulkan data dari lingkungan, sistem ini dilengkapi dengan tiga sensor ultrasonik HC-SR04 yang berfungsi mendeteksi rintangan di sisi kanan (pin *Trigger/Echo* di GPIO 27/26), depan (GPIO 14/12), dan kiri (GPIO 33/32). Jika terdeteksi objek dalam jarak tertentu (misalnya ≤ 60 cm untuk kiri dan kanan, serta ≤ 100 cm untuk depan), sistem akan memberikan notifikasi berupa suara sebagai peringatan. Selain itu, terdapat sensor kompas HMC5883L yang terhubung melalui I2C (SDA di GPIO 21, SCL di GPIO 22) untuk menentukan arah mata angin dan memberikan notifikasi arah mata angin kepada pengguna (misalnya perpindahan arah dari timur ke utara), serta modul GPS Ublox Neo-6m yang terhubung melalui pin TX ke GPIO 4 dan RX ke GPIO 2 untuk pembacaan lokasi pengguna. Semua data dari sensor tersebut diolah oleh ESP-32 dan kemudian menghasilkan output yang relevan. Umpaman balik audio kepada pengguna diberikan melalui kombinasi modul DFPlayer Mini yang terhubung melalui pin TX ke GPIO 16 dan RX ke GPIO 17, dengan output suara ke speaker. Sementara itu, fitur konektivitas IoT diwujudkan melalui pengiriman data lokasi ke Bot Telegram untuk memungkinkan pemantauan jarak jauh. Berikut adalah hasil akhir dari perancangan perangkat keras tersebut.



Gambar 4.1 Hasil Perancangan Alat



Gambar 4.2 Hasil Kontrol Box Alat

4.2 Pengujian *Hardware*

4.2.1 Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dan konsistensi sensor dalam mendeteksi jarak terhadap suatu objek di depannya. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sensor mampu

memberikan pembacaan jarak yang tepat dan dapat diandalkan sebagai sistem navigasi bagi pengguna tunanetra.

Tabel 4.1 Pengujian Sensor Ultrasonik Kiri

Pengujian ke	Meteran (cm)	Ultrasonik Kiri (cm)	Selisih (cm)	Error (%)
1	60	60	0	0
2	60	60	0	0
3	60	60	0	0
4	60	59	1	1,6
5	60	60	0	0
Rata-rata				0,32

Tabel 4.2 Pengujian Sensor Ultrasonik Depan

Pengujian ke	Meteran (cm)	Ultrasonik Depan (cm)	Selisih (cm)	Error (%)
1	100	100	0	0
2	100	100	0	0
3	100	100	0	0
4	100	100	0	0
5	100	100	0	0
Rata-rata				0

Tabel 4.3 Pengujian Sensor Ultrasonik Kanan

Pengujian ke	Meteran (cm)	Ultrasonik Kanan (cm)	Selisih (cm)	Error (%)
1	60	60	0	0
2	60	60	0	0
3	60	60	0	0
4	60	60	0	0
5	60	60	0	0
Rata-rata				0

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap tiga sensor ultrasonik (kiri, depan, dan kanan) untuk memverifikasi akurasi dan konsistensinya. Setiap sensor diuji sebanyak lima kali terhadap objek dengan jarak referensi 60 cm yang diukur menggunakan meteran. Pengujian pada tabel 4.1 untuk sensor kiri menunjukkan performa yang sangat baik. Dari lima pengujian, empat di antaranya memberikan hasil akurat (60 cm). Terdapat satu deviasi pada pengujian keempat, di mana sensor membaca 59 cm, yang menghasilkan selisih 1 cm dan tingkat error

sebesar 1,6%. Sensor depan dan kanan hasil pengujian pada tabel 4.2 dan 4.3 menunjukkan bahwa sensor ultrasonik bagian depan dan kanan memiliki tingkat akurasi yang sempurna. Dalam kelima percobaan, kedua sensor secara konsisten memberikan pembacaan jarak 100 cm dan 60 cm, sehingga menghasilkan selisih dan nilai error 0.



Gambar 4.3 Pengujian Sensor Ultrasonik

4.2.2 Pengujian Sensor HMC5883L

Pengujian sensor kompas digital HMC5883L ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi dan konsistensi sensor dalam menentukan arah mata angin. Untuk memastikan keakuratan data, pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sudut dari sensor HMC5883L terhadap alat referensi, yaitu kompas analog manual. Pengujian ini dilakukan dengan mengarahkan sensor ke empat mata angin utama (Utara, Timur, Selatan, Barat) dan mencatat perbandingan hasilnya.

Tabel 4.4 Pengujian Sensor HMC5883L

Arah	Pengujian ke-	Sensor HMC (°)	Kompas Analog (°)	Selisih (°)	Error (%)
Selatan	1	180	180	0	0
	2	201	202	1	0,4
Utara	1	0	0	0	0
	2	22	22	0	0
Timur	1	90	90	0	0
	2	45	45	0	0

Barat	1	271	270	1	0,3
	2	337	337	0	0
Rata-rata					0,1

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 4.4, sensor HMC5883L menunjukkan performa yang sangat presisi. Dari delapan kali percobaan, enam di antaranya menghasilkan pembacaan yang identik dengan kompas analog (selisih 0°). Deviasi terbesar yang tercatat hanya sebesar 1° , yang terjadi pada satu kali pengujian arah selatan dan satu kali pengujian arah barat. Setelah dihitung, nilai rata-rata persentase error dari keseluruhan pengujian adalah sebesar 0,1%. Nilai error yang sangat minim ini mengindikasikan bahwa sensor HMC5883L dapat diandalkan dan memiliki akurasi yang sangat baik untuk aplikasi penentuan arah.



Gambar 4.4 Pengujian Sensor HMC5883L

4.2.3 Pengujian Modul Modul GPS Ublox Neo-6m

Pengujian modul GPS Ublox Neo-6m dilakukan dengan tujuan utama untuk mengetahui tingkat akurasi dan keandalan modul dalam menentukan titik koordinat geografis (*latitude* dan *longitude*). Selain itu, pengujian ini juga bertujuan untuk mengukur waktu tunda (*delay*) yang dibutuhkan untuk mengirimkan data koordinat tersebut ke bot Telegram. Proses pengujian dilaksanakan dengan cara membandingkan data koordinat yang diterima dari modul GPS Ublox Neo-6m terhadap data koordinat dari aplikasi peta pada smartphone (seperti *Google Maps*) yang digunakan sebagai acuan referensi pada lokasi dan waktu yang sama.

Tabel 4.5 Pengujian *Longitude* Dan *Latitude* GPS Ublox Neo-6m

Lokasi	Perbandingan	Maps		Alat		Selisih		Error (%)		Delay (Detik)
		Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	
Lokasi 1 Jl. Sumatra	Siang 1	113,708	-8,1731	113,708	-8,1730	0	0,0001	0	0,001	1
	Siang 2	113,708	-8,1731	113,708	-8,1731	0	0	0	0	1
	Malam 1	113,708	-8,1731	113,708	-8,1731	0	0	0	0	2
	Malam 2	113,708	-8,1731	113,708	-8,1731	0	0	0	0	1
			Rata-rata				0		0,00025	1,25
Lokasi 2 Jl. Jawa	Siang 1	113,711	-8,1683	113,711	-8,1683	0	0	0	0	2
	Siang 2	113,711	-8,1683	113,711	-8,1682	0	0,0001	0	0,001	3
	Malam 1	113,711	-8,1683	113,711	-8,1683	0	0	0	0	1
	Malam 2	113,711	-8,1683	113,711	-8,1683	0	0	0	0	1
			Rata-rata				0		0,001	1,75
Lokasi 3 Jl. Jawa	Siang 1	113,712	-8,1687	113,712	-8,1690	0	0,0003	0	0,003	1
	Siang 2	113,712	-8,1687	113,712	-8,1690	0	0,0003	0	0,003	1
	Malam 1	113,712	-8,1687	113,712	-8,1687	0	0	0	0	1
	Malam 2	113,712	-8,1683	113,712	-8,1687	0	0,0004	0	0,004	1
			Rata-rata				0		0,002	1

Lokasi	Perbandingan	Maps		Alat		Selisih		Error (%)		Delay (Detik)
		Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	
Lokasi 4 Jl. Riau	Siang 1	113,721	-8,1705	113,721	-8,1705	0	0	0	0	1
	Siang 2	113,721	-8,1705	113,721	-8,1705	0	0	0	0	1
	Malam 1	113,721	-8,1705	113,721	-8,1705	0	0	0	0	2
	Malam 2	113,721	-8,1705	113,721	-8,1705	0	0	0	0	1
	Rata-rata							0	0	1,25
Lokasi 5 Jl. Riau	Siang 1	113,724	-8,1676	113,724	-8,1679	0	0,0003	0	0,003	1
	Siang 2	113,724	-8,1676	113,724	-8,1678	0	0,0002	0	0,002	1
	Malam 1	113,724	-8,1676	113,724	-8,1677	0	0,0001	0	0,001	1
	Malam 2	113,724	-8,1676	113,724	-8,1677	0	0,0001	0	0,001	1
	Rata-rata							0	0,001	1

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian pada Tabel 4.5, dapat disimpulkan bahwa modul GPS Ublox Neo-6M menunjukkan tingkat akurasi dan keandalan yang sangat tinggi untuk keperluan penentuan lokasi. Pada pengujian data *longitude*, modul secara konsisten memberikan hasil yang sempurna dengan nilai error 0% hingga 0,0025% di semua skenario pengujian. Sementara itu, untuk data *latitude*, tercatat tidak ada nilai error yang dihasilkan. Selain akurasi posisi yang tinggi, waktu tunda (*delay*) pengiriman data ke bot Telegram juga sangat responsif, dengan waktu pengiriman berkisar antara 1 hingga 3 detik. Dengan demikian, pengujian ini memvalidasi bahwa modul GPS Ublox Neo-6M sangat layak dan dapat diandalkan untuk fitur pelacakan lokasi secara real-time pada rancangan bangun alat navigasi untuk penyandang tunanetra.



Gambar 4.5 Pengujian Modul Modul GPS Ublox Neo-6m

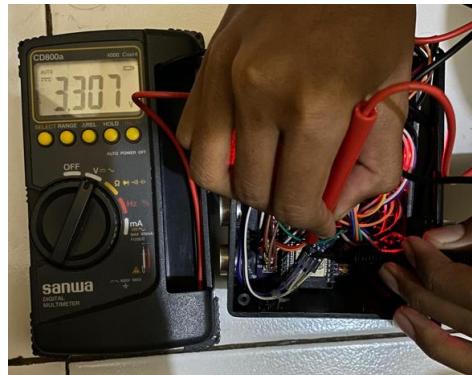
4.2.4 Pengujian Output Mikrokontroler ESP-32 DEV MODULE

Pengujian output pada mikrokontroler ESP-32 Dev Module dilakukan dengan tujuan untuk memverifikasi dan memastikan bahwa setiap pin digital mengeluarkan tingkat tegangan (voltage) yang sesuai dengan standar logika HIGH dan LOW. Proses pengujian ini menggunakan multimeter digital sebagai alat ukur presisi untuk membaca tegangan aktual pada setiap pin saat diberi kondisi HIGH dan LOW secara terprogram.

Tabel 4.6 Pengujian Mikrokontroler ESP-32 DEV MODULE

Pin Digital	Tegangan Input VDC (V)	Output Tegangan (Volt) Kondisi LOW	Output Tegangan (Volt) Kondisi HIGH	Error (%)
GPIO 27 (Trigger)	5	0	4,88	2,4
GPIO 26 (Echo)	5	0	4,90	2
GPIO 14 (Trigger)	5	0	4,87	2,6
GPIO 12 (Echo)	5	0	4,90	2
GPIO 33 (Trigger)	5	0	4,88	2,4
GPIO 32 (Echo)	5	0	4,89	2,2
GPIO 22 (Scl)	3,3	0	3,282	0,5
GPIO 21 (Sda)	3,3	0	3,280	0,6
GPIO 2 (Rx)	3,3	0	3,286	0,4
GPIO 4 (Tx)	3,3	0	3,186	3,4
GPIO 17 (Rx)	5	0	4,90	2
GPIO 16 (Tx)	5	0	4,87	2,6

Berdasarkan hasil pengujian output pada Tabel 4.7, dapat disimpulkan bahwa mikrokontroler ESP-32 Dev Module berfungsi dengan sangat baik dan sesuai dengan standar logika digital yang diharapkan. Pada kondisi LOW, semua pin yang diuji secara konsisten menghasilkan tegangan output 0V, yang merupakan kondisi ideal untuk logika rendah. Sementara itu, untuk kondisi HIGH, tegangan yang dihasilkan sangat mendekati tegangan input referensinya, baik untuk pin yang beroperasi pada 3,3V maupun 5V. Nilai output untuk pin bertegangan 3,3V berkisar antara 3,186V hingga 3,286V, sedangkan untuk pin 5V berkisar antara 4,87V hingga 4,90V. Dengan nilai error yang tercatat relatif kecil, pengujian ini memvalidasi bahwa output dari setiap pin digital ESP-32 stabil dan akurat. Dengan demikian, mikrokontroler ESP-32 terbukti andal untuk mengendalikan seluruh komponen periferal seperti sensor dan modul lainnya dalam sistem navigasi ini.

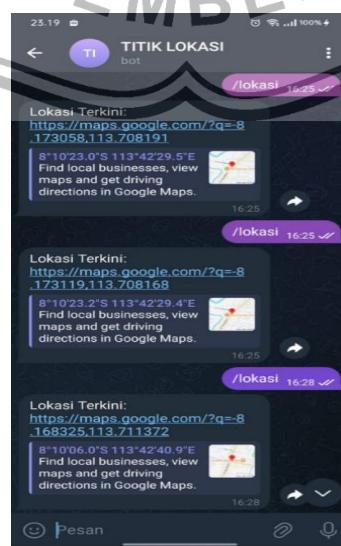


Gambar 4.6 Pengujian *Output* Mikrokontroler ESP-32 DEV MODULE

4.3 Pengujian *Software*

4.3.1 Pengujian Pengiriman Bot Telegram

Pengujian bot Telegram ini dilakukan dengan tujuan utama untuk memvalidasi fungsinya sebagai media pengiriman data lokasi GPS dan mengevaluasi waktu respons (*delay*) sistem. Pengujian ini berfokus untuk mengetahui seberapa cepat alat dapat mengirimkan data lokasi ke pihak keluarga atau kerabat melalui bot Telegram setelah pemantau mengirimkan perintah spesifik, yaitu “/lokasi”. Proses pengujian dilakukan dengan mencatat selang waktu yang dibutuhkan dari perintah terkirim hingga pesan lokasi diterima pada aplikasi Telegram untuk mengukur keandalan dan kecepatan sistem.



Gambar 4.7 Pengujian Bot Telegram

Pengukuran dalam format koordinat latitude dan longitude. Pesan dikirim dalam bentuk teks yang langsung dapat dibaca oleh pengguna dan terekam di

riwayat obrolan Telegram. Berikut pengujian *delay internet of things* dari pengambilan data sampai data terkirim ke telegram.

Tabel 4.7 Pengujian Pengiriman Bot Telegram

No.	Waktu Yang Diambil	Waktu Yang Diterima	Delay Terkirim (Detik)	Status
1	16:25:13	16:25:14	1	Berhasil
2	16:25:47	16:25:48	1	Berhasil
3	16:28:22	16:28:24	2	Berhasil
4	16:28:32	16:28:35	3	Berhasil
5	16:29:25	16:29:26	1	Berhasil
6	16:29:56	16:29:57	1	Berhasil
7	16:32:11	16:32:12	1	Berhasil
8	16:32:18	16:32:19	1	Berhasil
9	16:34:32	16:34:34	1	Berhasil
10	16:34:42	16:34:43	1	Berhasil
Rata-rata				1,3

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.8, sistem pengiriman notifikasi dari alat navigasi ke bot Telegram sebagai platform IoT menunjukkan kinerja yang sangat andal dan responsif. Dari total 10 percobaan yang dilakukan, seluruh pesan berhasil terkirim dengan status "Berhasil", menandakan tingkat keandalan sistem yang cukup baik. Waktu tunda (delay) yang dibutuhkan untuk pengiriman pesan dari alat hingga diterima oleh pengguna juga tercatat sangat singkat, yaitu berkisar antara 1 hingga 3 detik. Dengan waktu tunda rata-rata sebesar 1,3 detik, dapat disimpulkan bahwa sistem IoT ini sangat efektif dan dapat diandalkan untuk keperluan pemantauan lokasi pengguna secara real-time.

4.4 Pengambilan Data Sistem Secara Real

Pada tahap ini, dilakukan pengambilan data sistem secara menyeluruh untuk menguji performa sistem pada kondisi penggunaan nyata. Pengujian ini difokuskan pada tiga skenario lintasan berbeda di lingkungan terbuka (*outdoor*) untuk mengevaluasi respons alat terhadap berbagai manuver. Lintasan pertama adalah lintasan zigzag sepanjang 9 meter dengan lebar 1,2 meter yang lebarnya telah disesuaikan dengan standar minimal untuk lintasan pejalan kaki satu arah, dilengkapi delapan rintangan untuk menguji kemampuan navigasi pada perubahan arah yang tajam. Lintasan kedua berbentuk persegi dengan total keliling 12 meter

dan lebar 1,2 meter, yang dilengkapi delapan rintangan untuk mengevaluasi respons pada tikungan tajam 90 derajat. Lintasan ketiga adalah lintasan lingkaran dengan keliling 10 meter dan lebar 1,2 meter, yang dilengkapi delapan rintangan untuk menguji navigasi pada jalur melengkung yang kontinu, serta menguji alat didalam ruangan (*indoor*) dengan obstekel berupa cermin. Selain itu, pengujian ini juga bertujuan untuk menganalisis pengaruh variabel jarak terhadap waktu respons sensor ultrasonik dan menguji apakah jenis material rintangan (kayu atau logam) mempengaruhi akurasi deteksi sensor.

4.4.1 Hasil Pengujian Lintasan Zigzag

Pengujian pertama dilakukan pada lintasan berbentuk zigzag yang dirancang khusus untuk mengevaluasi kemampuan alat dalam menavigasi perubahan arah yang tajam dan berulang. Lintasan ini membentang sepanjang 9 meter dengan lebar jalur 1,2 meter. Untuk menyimulasikan tantangan yang mungkin dihadapi di lingkungan nyata, terdapat delapan buah rintangan yang terdiri dari logam dan kayu ditempatkan secara strategis di setiap titik belokan pada lintasan ini, sehingga data ini digunakan untuk memvalidasi ketepatan akurasi deteksi sistem di lapangan.

Tabel 4.8 Data Lintasan Zigzag

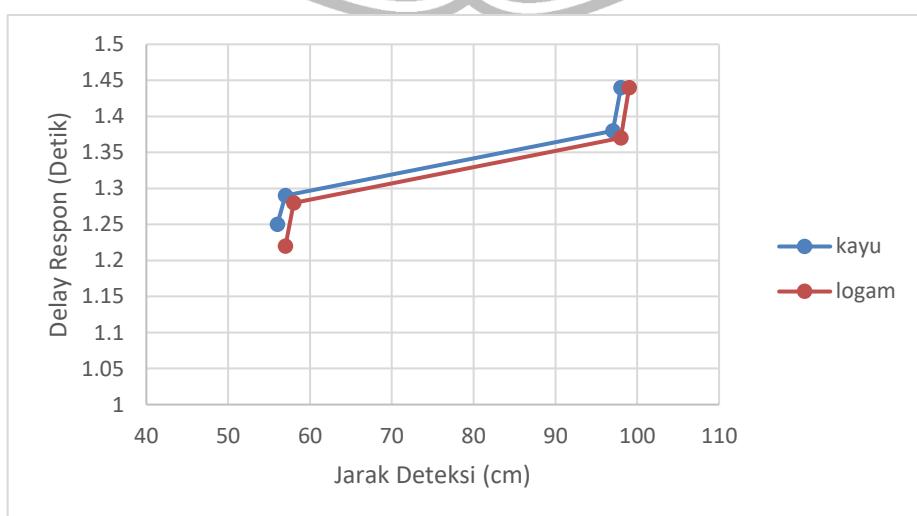
Jenis Lintasan	Jenis Obstekel (Logam/Kayu)	Jarak Deteksi Obstekel (cm)	Delay Respon (detik)	Notifikasi Suara	Keterangan
Zigzag	Kayu	98	1,44	Depan ada halangan	Berhasil
	Logam	57	1,22	Kanan ada halangan	Berhasil
	Logam	98	1,37	Depan ada halangan	Berhasil
	Kayu	57	1,29	Kiri ada halangan	Berhasil
	Logam	99	1,44	Depan ada halangan	Berhasil
	Kayu	56	1,25	Kanan ada halangan	Berhasil
	Kayu	97	1,38	Depan ada halangan	Berhasil
	Logam	58	1,28	Kiri ada halangan	Berhasil

Tabel 4.9 Rata-rata Delay Obstekel Kayu

Jenis obstekel	Jarak deteksi (cm)	Delay respon (detik)
Kayu	56	1,25
Kayu	57	1,29
Kayu	97	1,38
Kayu	98	1,44
Rata-rata	77	1,34

Tabel 4.10 Rata-rata Delay Obstekel Logam

Jenis obstekel	Jarak deteksi (cm)	Delay respon (detik)
Logam	57	1,22
Logam	58	1,28
Logam	98	1,37
Logam	99	1,44
Rata-rata	78	1,32



Gambar 4.8 Grafik Rata-rata Delay Obstekel Kayu dan Logam

Berdasarkan hasil pengujian pada lintasan zigzag, seperti yang dirangkum pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10, menunjukkan karakteristik kinerja sensor yang menarik. Pada skenario lintasan ini, rintangan berbahan logam terbukti menunjukkan keunggulan tipis, di mana sensor mampu mendekstinya dari jarak rata-rata 78 cm, dengan waktu respons rata-rata yang lebih cepat, sebesar 1,32 detik. Sebaliknya, rintangan kayu terdeteksi pada jarak rata-rata yang sedikit lebih dekat, yaitu 77 cm, dan memiliki waktu tunda respons yang sedikit lebih lambat, rata-rata 1,34 detik. Meskipun perbedaannya sangat kecil, temuan ini mengindikasikan bahwa pada jalur non-linear yang menjadi ciri khas lintasan zigzag, deteksi terhadap material logam memiliki keunggulan yang tipis, sementara semua notifikasi suara tetap berhasil disampaikan dengan benar.

4.4.2 Hasil Pengujian Lintasan Persegi

Pengujian selanjutnya dilakukan pada lintasan kedua yang dirancang dengan bentuk kotak (persegi), bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan alat dalam menavigasi jalur lurus yang diikuti oleh tikungan tajam sebesar 90 derajat. Lintasan ini memiliki total panjang keliling 12 meter dengan lebar jalur 1,2 meter. Untuk menguji responsivitas alat pada skenario ini, delapan buah rintangan yang terdiri dari kayu dan logam ditempatkan secara strategis di dekat setiap titik belokan pada lintasan.

Tabel 4.11 Data Lintasan Persegi

Jenis Lintasan	Jenis Obstekel (Logam/Kayu)	Jarak Deteksi Obstekel (cm)	Delay Respon (detik)	Notifikasi Suara	Keterangan
Persegi	Kayu	97	1,43	Depan ada halangan	Berhasil
	Logam	59	1,26	Kiri ada halangan	Berhasil
	Logam	98	1,43	Depan ada halangan	Berhasil
	Kayu	58	1,28	Kiri ada halangan	Berhasil
	Kayu	98	1,44	Depan ada halangan	Berhasil
	Logam	57	1,24	Kanan ada halangan	Berhasil

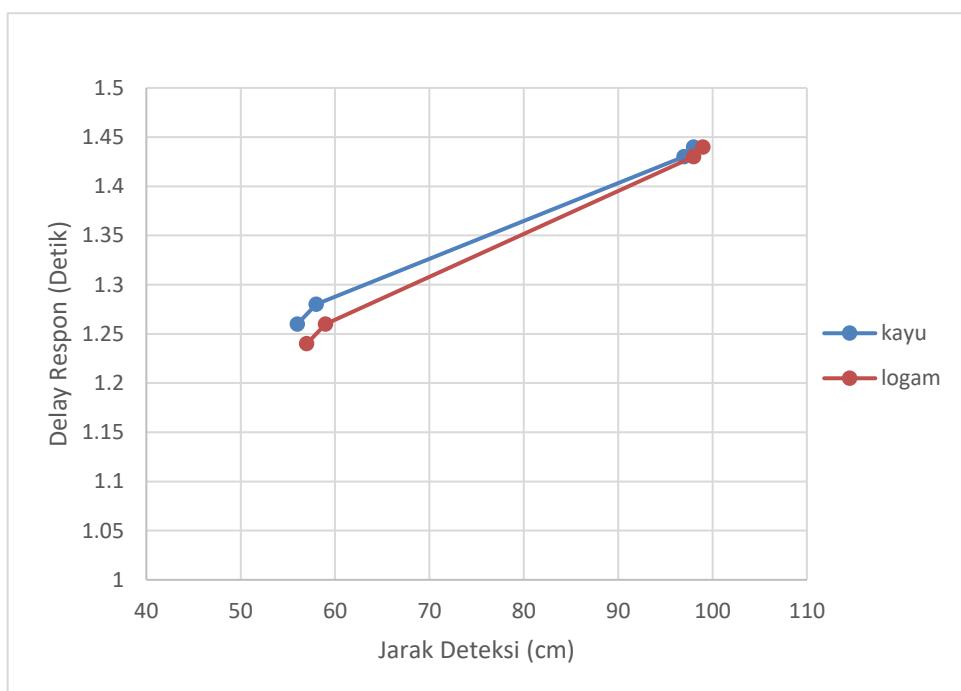
Jenis Lintasan	Jenis Obstekel (Logam/Kayu)	Jarak Deteksi Obstekel (cm)	Delay Respon (detik)	Notifikasi Suara	Keterangan
	Logam	99	1,44	Depan ada halangan	Berhasil
	Kayu	56	1,26	Kiri ada halangan	Berhasil

Tabel 4.12 Rata-rata Delay Obstekel Kayu

Jenis obstekel	Jarak deteksi (cm)	Delay respon (detik)
Kayu	56	1,26
Kayu	58	1,28
Kayu	97	1,43
Kayu	98	1,44
Rata-rata	77,25	1,35

Tabel 4.13 Rata-rata Delay Obstekel Logam

Jenis obstekel	Jarak deteksi (cm)	Delay respon (detik)
Logam	57	1,24
Logam	59	1,26
Logam	98	1,43
Logam	99	1,44
Rata-rata	78,25	1,34



Gambar 4.9 Grafik Rata-rata Delay Obstekel Kayu dan Logam

Berdasarkan hasil pengujian pada lintasan persegi, seperti yang dirangkum pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12, menunjukkan karakteristik kinerja sensor yang menarik. Pada skenario lintasan ini, rintangan berbahan logam terbukti menunjukkan keunggulan tipis, di mana sensor mampu mendeksnnya dari jarak rata-rata 78 cm, dengan waktu respons rata-rata yang lebih cepat, sebesar 1,34 detik. Sebaliknya, rintangan kayu terdeteksi pada jarak rata-rata yang sedikit lebih dekat, yaitu 77 cm, dan memiliki waktu tunda respons yang sedikit lebih lambat, rata-rata 1,35 detik. Meskipun perbedaannya sangat kecil, temuan ini mengindikasikan bahwa pada jalur lurus yang menjadi ciri khas lintasan persegi, deteksi terhadap material logam memiliki keunggulan yang sangat kecil, baik dari segi jarak aman maupun kecepatan respons, sementara semua notifikasi suara tetap berhasil disampaikan dengan benar.

4.4.3 Hasil Pengujian Lintasan Lingkaran

Pengujian terakhir dilakukan pada lintasan ketiga yang dirancang dalam bentuk lingkaran, bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan alat dalam melakukan navigasi secara kontinu pada jalur melengkung yang non-linear. Lintasan ini memiliki total panjang keliling 10 meter dan lebar jalur 1,2 meter. Untuk menguji

kepekaan alat secara konsisten pada skenario ini, delapan buah rintangan yang terdiri dari logam dan kayu ditempatkan secara strategis di sepanjang keliling lintasan.

Tabel 4.14 Data Lintasan Lingkaran

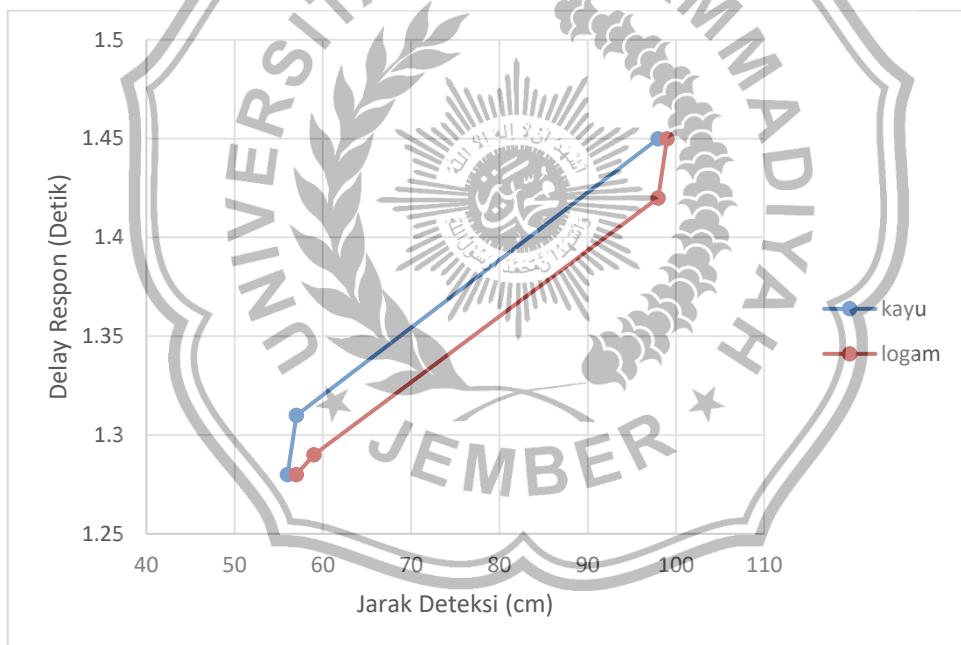
Jenis Lintasan	Jenis Obstekel (Logam/Kayu)	Jarak Deteksi Obstekel (cm)	Delay Respon (detik)	Notifikasi Suara	Keterangan
Lingkaran	Logam	99	1,45	Depan ada halangan	Berhasil
	Kayu	56	1,28	Kiri ada halangan	Berhasil
	Kayu	98	1,45	Depan ada halangan	Berhasil
	Logam	59	1,29	Kiri ada halangan	Berhasil
	Kayu	57	1,31	Kanan ada halangan	Berhasil
	Logam	98	1,42	depan ada halangan	Berhasil
	Kayu	98	1,46	Depan ada halangan	Berhasil
	Logam *	57	1,28	Kanan ada halangan	Berhasil

Tabel 4.15 Rata-rata Delay Obstekel Kayu

Jenis obstekel	Jarak deteksi (cm)	Delay respon (detik)
Kayu	56	1,28
Kayu	57	1,31
Kayu	98	1,45
Kayu	98	1,46
Rata-rata	77,25	1,37

Tabel 4.16 Rata-rata Delay Obstekel Logam

Jenis obstekel	Jarak deteksi (cm)	Delay respon (detik)
Logam	57	1,28
Logam	59	1,29
Logam	98	1,42
Logam	99	1,45
Rata-rata	78,25	1,36



Gambar 4.10 Grafik Rata-rata Delay Obstekel Kayu dan Logam

Berdasarkan hasil pengujian pada lintasan lingkaran, seperti yang dirangkum pada Tabel 4.13 dan 4.14, menunjukkan karakteristik kinerja yang sangat mirip dengan lintasan zigzag. Pada skenario ini, rintangan berbahan logam menunjukkan keunggulan yang sangat tipis, di mana sensor mendeteksinya dari jarak rata-rata 78 cm dengan waktu respons 1,36 detik. Sebaliknya, rintangan kayu terdeteksi pada jarak rata-rata 77 cm dengan waktu tunda sedikit lebih lambat, yaitu 1,37 detik. Dengan performa yang hampir setara, dapat disimpulkan bahwa pada jalur melengkung yang kontinu ini, alat mampu mendeteksi kedua material dengan tingkat keandalan yang sebanding.

4.4.4 Hasil Pengukuran Waktu Tempuh

Tahap selanjutnya adalah pengukuran waktu tempuh, yang dilakukan dengan menguji alat sebanyak tiga kali pada dua skenario lintasan berbeda, dengan lintasan zigzag sepanjang 9 meter dan lintasan persegi dengan keliling 12 meter. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui dan mengevaluasi efisiensi waktu yang dibutuhkan pengguna saat bernaligasi menggunakan alat tersebut. Dari ketiga percobaan setiap lintasan tersebut, kemudian dicatat waktu tempuh yang tercepat, sedang, dan terlambat untuk dianalisis, sebagaimana dirangkum dalam Tabel dibawah.

Tabel 4.17 Hasil Pengukuran Waktu Tempuh

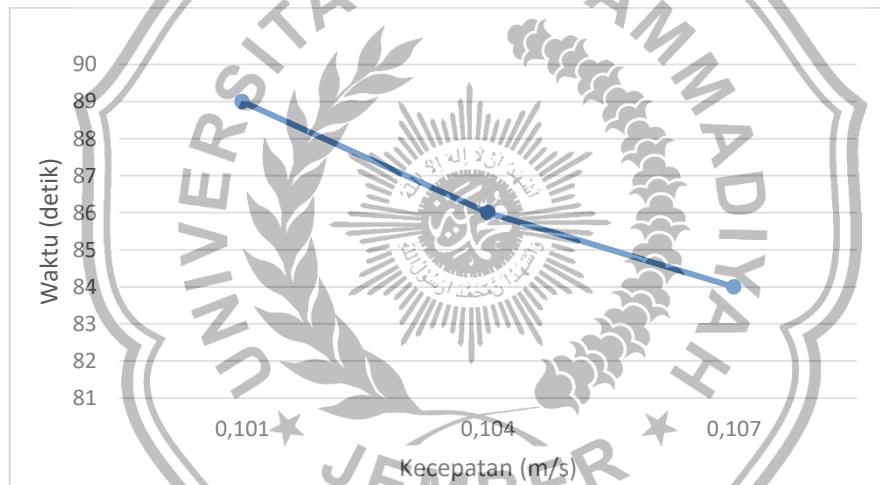
Kondisi	Jenis Lintasan	Jarak Lintasan (meter)	Waktu Tempuh (detik)	kecepatan (m/s)
Cepat	Zigzag	9	84	0,107
Sedang	Zigzag	9	86	0,104
Lambat	Zigzag	9	89	0,101
Cepat	Persegi	12	93	0,129
Sedang	Persegi	12	94	0,127
Lambat	Persegi	12	98	0,122

Tabel 4.18 Rata-rata Waktu Tempuh Lintasan Zigzag

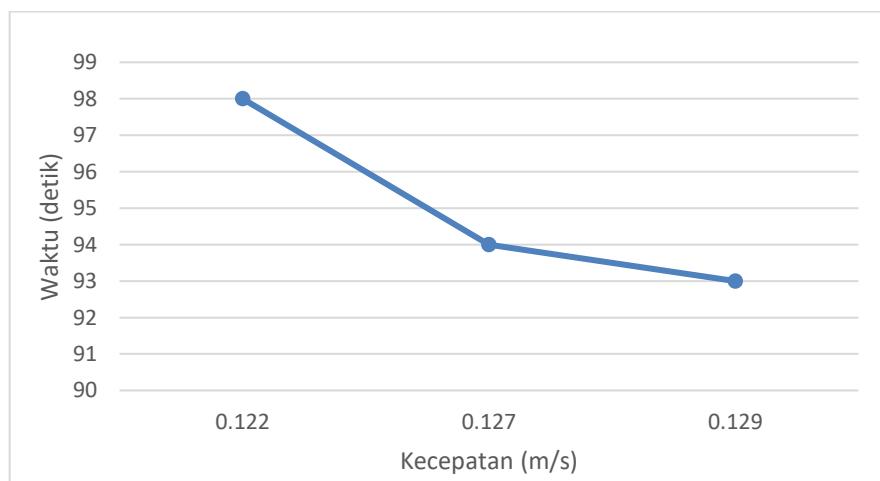
Kondisi	Jenis Lintasan	Jarak Lintasan (meter)	Waktu Tempuh (detik)	kecepatan (m/s)
Cepat	Zigzag	9	84	0,107
Sedang	Zigzag	9	86	0,104
Lambat	Zigzag	9	89	0,101
Rata-rata			86,3	0,104

Tabel 4.19 Rata-rata Waktu Tempuh Lintasan Persegi

Kondisi	Jenis Lintasan	Jarak Lintasan (meter)	Waktu Tempuh (detik)	kecepatan (m/s)
Cepat	Persegi	12	93	0,129
Sedang	Persegi	12	94	0,127
Lambat	Persegi	12	98	0,122
Rata-rata		95	0,126	



Gambar 4.11 Grafik Rata-rata Waktu Tempuh Lintasan Zigzag



Gambar 4.12 Grafik Rata-rata Waktu Tempuh Lintasan Persegi

Berdasarkan hasil pengujian waktu tempuh pada dua jenis lintasan, diperoleh data performa yang berbeda secara signifikan. Pada pengujian lintasan Zigzag dengan jarak 9 meter, waktu tempuh yang tercatat berada pada rentang 1,24 menit hingga 1,29 menit, tergantung pada kondisi kecepatan. Dari data ini, didapatkan nilai waktu tempuh rata-rata sebesar 1,2633 menit dengan kecepatan rata-rata sebesar 0,10430 m/s. Sementara itu, untuk lintasan Persegi yang memiliki jarak lebih jauh (12 meter), waktu tempuh yang dibutuhkan berkisar antara 1,33 hingga 1,38 menit. Perhitungan rata-rata untuk lintasan Persegi menunjukkan waktu tempuh 1,35 menit dengan kecepatan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu 0,12637 m/s. Meskipun lintasan Persegi membutuhkan waktu tempuh total yang lebih lama, hal ini disebabkan oleh jaraknya yang lebih jauh. Apabila membandingkan kecepatan sebagai tolok ukur efisiensi gerak, dapat disimpulkan bahwa lintasan Persegi memungkinkan pencapaian kecepatan rata-rata yang lebih unggul dibandingkan dengan lintasan Zigzag.

4.4.5 Hasil Pengujian Di Dalam Ruangan

Pengujian di dalam ruangan, evaluasi sistem dilakukan di dalam ruangan (*indoor*) dengan menempatkan tiga buah rintangan (*obstakel*) berupa cermin dan benda yang ada didalam ruangan untuk menguji kemampuan sensor ultrasonik dalam mendekksi benda disekitar, serta permukaan yang memiliki sifat memantulkan gelombang secara berbeda dibandingkan dengan material kayu dan logam.

Tabel 4.20 Data Di Dalam Ruangan

Jenis Lintasan	Jenis Obstekel	Jarak Deteksi Obstekel (cm)	Delay Respon (detik)	Notifikasi Suara	Keterangan
Didalam Ruangan	Cermin	99	1,46	Depan ada halangan	Berhasil
	Dinding	58	1,28	Kiri ada halangan	Berhasil
	Cermin	57	1,27	Kanan ada halangan	Berhasil
	Pintu	58	1,28	Kiri ada halangan	Berhasil
	Lemari	59	1,28	Kanan ada	Berhasil

Jenis Lintasan	Jenis Obstekel	Jarak Deteksi Obstekel (cm)	Delay Respon (detik)	Notifikasi Suara	Keterangan
	Cermin	59	1,28	halangan Kiri ada halangan	Berhasil

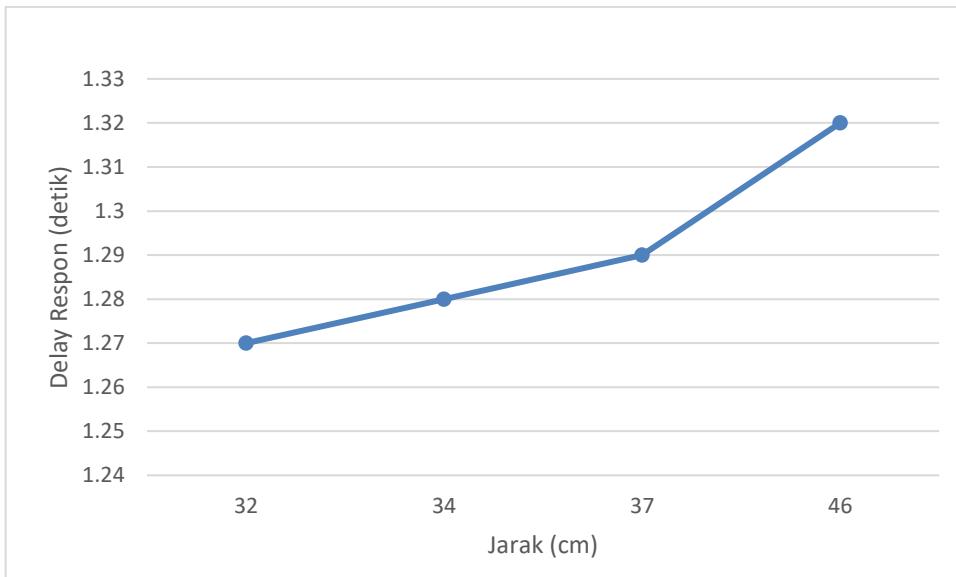
Berdasarkan Tabel 4.17, pengujian yang dilakukan di dalam ruangan terhadap berbagai jenis obstekel menunjukkan hasil berhasil. Alat mampu mendeteksi halangan seperti cermin, dinding, pintu, dan lemari pada jarak antara 57 cm hingga 99 cm, dengan delay respon yang cepat, yaitu sekitar 1,27 hingga 1,46 detik. Sistem juga berhasil memberikan notifikasi suara yang sesuai dengan arah datangnya halangan. Seluruh pengujian menghasilkan notifikasi suara yang sesuai dan dinyatakan "Berhasil".

4.4.6 Hasil Pengujian Di Tangga

Pengujian terakhir difokuskan pada area tangga, yang merupakan salah satu lingkungan paling krusial bagi mobilitas pengguna. Skenario pengujian ini dirancang untuk menguji keandalan sistem dalam mendeteksi obstekel dinamis, yaitu seseorang yang berjalan melewati pengguna, baik saat pengguna sedang menaiki maupun menuruni tangga.

Tabel 4.21 Data Pengujian Di Tangga

Jenis Lintasan	Jenis Obstekel	Jarak Deteksi Obstekel (cm)	Delay Respon (detik)	Ketinggian (cm)	Notifikasi Suara	Keterangan
Menaiki Tangga	Orang	32	1,27	35	Depan ada halangan	Berhasil
	Orang	34	1,28	35	Kanan ada halangan	Berhasil
Menuruni Tangga	Orang	46	1,32	35	Depan ada halangan	Berhasil
	Orang	37	1,29	35	Kiri ada halangan	Berhasil



Gambar 4.13 Grafik Rata-rata Delay Obstekel Dan Ketinggian

Berdasarkan Tabel 4.17, pengujian alat dilakukan pada lintasan tangga dengan menggunakan orang sebagai objek halangan. Pengujian ini mencakup dua skenario, yaitu saat menaiki dan menuruni tangga, dengan sensor dipasang pada ketinggian 35 cm. Pada skenario menaiki tangga, alat berhasil mendeteksi halangan di depan pada jarak 32 cm dengan waktu respon 1,27 detik, dan halangan di sisi kanan pada jarak 34 cm dengan waktu respon 1,28 detik. Sementara itu, pada skenario menuruni tangga, alat mampu mendeteksi halangan di depan pada jarak 46 cm (respon 1,32 detik) dan di sisi kiri pada jarak 37 cm (respon 1,29 detik). Seluruh pengujian menunjukkan hasil "Berhasil", di mana alat mampu memberikan notifikasi suara yang sesuai dengan lokasi halangan terdeteksi, seperti "Depan ada halangan", "Kanan ada halangan", dan "Kiri ada halangan". Hal ini membuktikan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik pada kondisi lintasan menanjak dan menurun di tangga.