



Jalur Perencanaan Pada Delivery Mobile Robot Menggunakan Metode GPS Waypoints

Tugas Akhir

**Oleh:
Josua Purba (4211801014)**

**Program Studi Teknik Mekatronika
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2026**

Lembar Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : "Jalur Perencanaan Pada Delivery Mobile Robot Menggunakan Metode GPS Waypoints" adalah hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 28 Juli 2026



NIM : 4211801014

Lembar Pengesahan

**Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S. Tr. T)**

Di

Politeknik Negeri Batam

Disusun oleh:

Josua Purba (4211801014)

Tanggal Sidang: 28-07-2026

Disetujui oleh :



**1. Dr. Budi Sugandi, M. Eng
NIK: 100002**



**1. Hendawan Soebhakti S.T, M.T
NIK: 197912152014041001**



**2. Fitriyanti Nakul, S. Pd, M.Si
NIK: 118197**

Jalur Perencanaan Pada Delivery Mobile Robot Menggunakan Metode GPS Waypoints

Abstrak

Di era perkembangan teknologi saat ini, robot bergerak (mobile robot) memainkan peran penting di berbagai bidang, mulai dari industri hingga layanan publik. Salah satu tantangan utama dalam pengembangan mobile robot adalah penerapan sistem navigasi yang efisien dan akurat. Penelitian ini berfokus pada perencanaan jalur untuk robot pengantar bergerak dengan menggunakan GPS waypoints sebagai acuan navigasi utama. Sistem ini menggunakan sensor GPS untuk menentukan koordinat waypoint, memungkinkan robot bergerak secara mandiri dari lokasi awal menuju tujuan yang telah ditentukan. Mikrokontroler digunakan untuk mengolah data dari sensor GPS serta masukan dari sensor pendukung seperti kompas digital dan encoder roda. Kompas berfungsi memastikan orientasi arah robot, sementara encoder digunakan untuk mengukur jarak tempuh dan kecepatan roda, sehingga memungkinkan pelacakan lintasan secara presisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan GPS waypoint secara signifikan meningkatkan efektivitas navigasi mobile robot. Robot berhasil mencapai titik tujuan dengan tingkat keberhasilan 100% pada lintasan lurus dan kompleks, serta 85% pada lintasan berbelok dalam batas radius 2 meter dari koordinat sebenarnya. Rata-rata deviasi posisi GPS tercatat sebesar 1,35 meter. Sistem ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi kemajuan teknologi robot otonom di masa depan, khususnya dalam aplikasi yang membutuhkan navigasi luar ruang yang andal. Penelitian ini memberikan kontribusi penting berupa metode navigasi yang praktis dan bernilai bagi bidang robotika.

Kata kunci: Mobile Robot, Sensor GPS, Waypoint, Navigasi Otonom

Planning Path on Mobile Robot Delivery Using GPS Waypoints Methods

Abstract

In the current era of technological advancement, mobile robots play a crucial role in various fields, ranging from industry to public services. One of the main challenges in mobile robot development is implementing an efficient and accurate navigation system. This study focuses on path planning for a mobile delivery robot using GPS waypoints as the primary navigation reference. The system employs GPS sensors to determine the coordinates of waypoints, enabling the robot to move autonomously from its initial location to a predefined destination. A microcontroller is used to process data from the GPS sensor as well as inputs from complementary sensors, including a digital compass and wheel encoders. The compass ensures correct orientation, while the encoders measure distance traveled and wheel speed, allowing for accurate trajectory tracking. The results demonstrate that the use of GPS waypoints significantly improves the navigation effectiveness of the mobile robot, the robot successfully reached the target points with a 100% success rate on straight and complex paths, and an 85% success rate on curved paths within a 2-meter radius of the actual coordinates. The average GPS positional deviation was recorded at 1.35 meters. This system is expected to serve as a foundation for future advancements in autonomous robotic technologies, particularly for applications requiring reliable outdoor navigation. The study contributes a valuable and practical method to the field of robotics navigation.

Keywords: Mobile Robots, GPS Sensors, Waypoints, Autonomous

Kata Pengantar

Syukur dan Puji Tuhan penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa. Berkat rahmat dan karunia-Nya, Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Jalur Perencanaan Pada Delivery Mobile Robot Menggunakan GPS Waypoints” ini dapat diselesaikan dengan baik sebagai salah satu syarat kelulusan di jurusan Teknik Elektro, program studi Teknik Mekatronika, Politeknik Negeri Batam.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan dalam proses pembuatan Tugas Akhir ini kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa dan motivasi kepada penulis.
2. Bapak Ir. Bambang Hendrawan, S.T., M.S.M. selaku Direktur Politeknik Negeri Batam.
3. Bapak Indra Hardian Mulyadi, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Batam.
4. Bapak Diono S.Tr.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknik Mekatronika Politeknik Negeri Batam.
5. Bapak Hendawan Soebhakti, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing.
6. Bapak Feralia Fitri, S.T., M.T. selaku dosen pengampu mata kuliah Tugas Akhir.
7. Ibu Eka Mutia Lubis, S.Pd., M.Pd. selaku dosen wali.
8. Bapak Dr. Budi Sugandi, S.T., M.Eng. dan Ibu Fitriyanti Nakul, S.Pd., M.Si. selaku dosen penguji.
9. Seluruh Dosen dan staff administrasi di jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Batam.
10. Seluruh teman Teknik Mekatronika angkatan 2018.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan Tugas Akhir ini di masa depan. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi masyarakat yang membacanya.

Batam. 28 Juli 2026

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Josua Purba', with a stylized, flowing script.

Penulis,
Josua Purba

Daftar Isi

Lembar Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	iii
Abstract	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	x
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka	3
2.1 Mobile Robot	3
2.2 Sistem Navigasi	3
2.3 Sistem Penggerak Differensial	3
2.3.1 Encoder	4
2.4 Roda Penggerak	8
2.5 Sensor	9
2.5.1 Sensor Jarak HC-SR04	9
2.5.2 Sensor GPS Ublox M8N	9
2.5.3 Sensor Kompas HMC5883L	10
2.6 Mikrokontroler ESP32 NODEMCU Module Wifi	10
2.7 Kodular	11
2.8 Motor Driver	12
Bab 3. Metode	13

3.1 Rancangan Penelitian	13
3.1.1 Sistem Perancangan Perangkat Keras	14
3.1.2 Sistem Perancangan Perangkat Lunak.....	17
3.1.3 Desain Perancangan Mekanik	19
3.2 Metode Pengujian	20
3.2.1 Pengujian Sensor GPS.....	20
3.2.2 Pengujian Sensor Kompas.	21
3.2.3 Pengujian Sensor Ultrasonik.....	21
3.2.4 Pengujian Jalur Waypoint.....	21
3.2.5 Pengujian Aplikasi Kodular.	21
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	22
4.1 Hasil Pengujian.....	22
4.1.1 Hasil Pengujian Sensor GPS	22
4.1.2 Hasil Pengujian Sensor Kompas.....	24
4.1.3 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik	30
4.1.4 Pengujian Jalur Waypoint.....	31
4.1.5 Pengujian Aplikasi Kodular	37
4.2 Pembahasan	40
4.2.1 Analisis Sensor GPS	40
4.2.2 Analisis Sensor Kompas	40
4.2.3 Analisis Sensor Ultrasonik	41
4.2.4 Analisis Pengujian Jalur Waypoint.....	41
4.2.5 Analisis Pengujian Aplikasi Kodular	42
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
Daftar Pustaka	44

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Konfigurasi Roda Differensial Pada Mobile Robot	4
Gambar 2.2 Sistem Koordinat Pos	5
Gambar 2.3 Sistem Koordinat Tujuan	6
Gambar 2.4 Manuver Robot Pada Sumbu <i>Center Of Mesh</i>	7
Gambar 2.5 Robot Berputar Ditempat	8
Gambar 2.6 Motor JGA25-370 Dc Motor 24v 12v Dc Gear Motor	8
Gambar 2.7 Sensor HC-SR04	9
Gambar 2.8 Sensor Ublox M8N	10
Gambar 2.9 Sensor HMC5883L	10
Gambar 2.10 ESP32 NODEMCU Module WiFi	11
Gambar 2.11 Kodular	12
Gambar 2.12 Motor driver	12
Gambar 3.1 Tahapan Rancangan Penelitian.....	13
Gambar 3.2 Diagram Blok Perangkat Keras.....	14
Gambar 3.3 Wiring Diagram.....	15
Gambar 3.4 Diagram Alir Navigasi <i>Waypoint</i>	17
Gambar 3.5 Diagram Alir Penentuan Jarak Tempuh	18
Gambar 3.6 Diagram Alir Arah Tujuan Robot.....	18
Gambar 3.7 Desain 3D dan Proyeksi Sudut Pandang Robot.....	19
Gambar 3.8 Bentuk Fisik Perangkat Keras Robot	20
Gambar 4.1 Titik Lokasi Pengujian Sensor GPS	24
Gambar 4.2 Titik Lokasi Pengujian Pada Lintasan Lurus.....	33
Gambar 4.3 Titik Lokasi Pengujian Pada Lintasan Berbelok	35
Gambar 4.4 Titik Lokasi Pengujian Pada Lintasan Kompleks	37
Gambar 4.5 Tampilan Pada Aplikasi Kodular.....	37

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Spesifikasi Motor JGA25-370 Dc Motor 24v 12v Dc Gear Motor	8
Table 2.2 Spesifikasi Sensor HC-SR04	9
Tabel 2.3 Spesifikasi ESP32 NODEMCU Module WiFi	11
Tabel 2.4 Spesifikasi Module Dual H-Bridge L298N	12
Tabel 2.5 Pin I/O Wiring Diagram	16
Tabel 3.2 Metode Pengujian Sistem Navigasi Mobile Robot	21
Tabel 4.1 Pengujian Pembacaan Sensor GPS	23
Tabel 4.2 Pengujian Sensor Kompas Ketika Robot Bergerak di Tempat	25
Tabel 4.3 Pembacaan Kompas Saat Robot Bermanuver Pada Jalur Waypoint	30
Tabel 4.4 Pengujian Pembacaan Sensor Ultrasonik	30
Tabel 4.5 Pengujian Pembacaan Sensor Ultrasonik Terhadap Halangan	31
Tabel 4.6 Pengujian GPS Waypoint Pada Lintasan Lurus	32
Tabel 4.7 Pengujian GPS Waypoint Pada Lintasan Berbelok	34
Tabel 4.8 Pengujian GPS Waypoint Pada Lintasan Kompleks	36
Tabel 4.9 Fitur Pada Aplikasi Kodular	39
Tabel 4.10 Pengujian Aplikasi Kodular	39

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi robotika semakin pesat dan telah merambah berbagai bidang, seperti pendidikan, medis, militer, industri, dan layanan publik. Peningkatan ini didorong oleh kebutuhan manusia terhadap perangkat yang mampu membantu dan meringankan pekerjaan secara efektif. Salah satu bentuk robotika yang berkembang adalah mobile robot, yaitu robot yang dapat bergerak secara mandiri atau dikendalikan. Umumnya, mobile robot masih dikendalikan menggunakan perangkat *remote control* yang memiliki keterbatasan, terutama dalam hal jarak jangkauan sinyal. Keterbatasan ini menjadi alasan penting untuk mengembangkan *autonomous mobile robot* (robot bergerak secara otomatis) yang mampu menentukan dan menjalankan jalurnya sendiri tanpa campur tangan manusia secara langsung [1].

Dalam penelitian ini, penulis merancang sistem pergerakan otomatis dengan menerapkan metode waypoints, yaitu metode penentuan arah berdasarkan titik-titik koordinat dalam sistem koordinat geografis bumi (latitude dan longitude) [2]. Metode ini memungkinkan mobile robot untuk bergerak dari satu titik ke titik lainnya secara presisi berdasarkan peta lintasan yang telah ditentukan. Navigasi robot dikendalikan secara otomatis menggunakan perangkat smartphone sebagai antarmuka pengguna, dengan komunikasi berbasis modul ESP32 WiFi. Jalur gerak robot ditentukan oleh data dari tiga jenis sensor utama, yaitu GPS (untuk mengetahui posisi), kompas digital (untuk arah gerak), dan sensor ultrasonik (untuk mendeteksi rintangan) [3].

Semua data sensor akan diolah oleh mikrokontroler ESP32, yang akan menggabungkan posisi awal dan tujuan dari GPS, arah dari kompas, serta kondisi lingkungan dari sensor ultrasonik. Hasil pengolahan data ini digunakan untuk mengatur pergerakan robot agar dapat mencapai tujuan dengan menghindari rintangan di sekitarnya. Sistem penggerak robot menggunakan metode differential drive, yaitu empat roda penggerak yang dikontrol secara independen untuk memungkinkan robot berbelok dan bergerak sesuai jalur. Dengan perencanaan jalur berbasis GPS waypoints ini, robot diharapkan dapat melakukan pengiriman (*delivery*) dengan lebih akurat dan efisien pada area luar ruangan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana mobile robot mengetahui posisinya secara tepat?
- b. Bagaimana mobile robot dapat bergerak dari titik awal ke titik tujuan secara otomatis?
- c. Bagaimana mobile robot menentukan arah pergerakannya berdasarkan data koordinat GPS?

1.3. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Menerapkan sistem GPS untuk navigasi mobile robot di lingkungan luar ruangan.
- b. Menentukan jalur pergerakan robot dengan metode waypoints.
- c. Menentukan arah gerak robot berdasarkan koordinat GPS yang telah ditentukan.

1.4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

- a. Menyediakan sistem navigasi yang dapat diterapkan pada mobile robot untuk operasi luar ruangan.
- b. Menjadi referensi dan acuan dalam pengembangan teknologi autonomous mobile robot di masa depan.

1.5. Batasan

Penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal berikut:

- a. Mobile robot yang dirancang merupakan prototipe skala kecil.
- b. Pengujian dilakukan di area luar ruangan dalam lingkungan Politeknik Negeri Batam.
- c. Jalur navigasi dirancang dengan tiga titik waypoint sebagai tujuan.
- d. Sensor yang digunakan meliputi modul GPS, kompas digital, dan sensor ultrasonik.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah sistem navigasi *mobile robot* yang bekerja di lingkungan luar ruangan (*outdoor*). Oleh karena itu, bab ini membahas teori-teori pendukung yang relevan sebagai dasar solusi terhadap permasalahan tersebut.

2.1 Mobile Robot

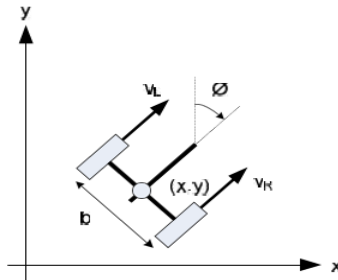
Mobile robot adalah robot bergerak yang dirancang untuk membantu pekerjaan manusia dalam berbagai bidang. Komponen utama yang membentuk *mobile robot* meliputi sistem mekanik, sistem elektronik, sistem kontrol (kecerdasan buatan), catu daya, dan sensor. Integrasi dari elemen-elemen ini memungkinkan robot untuk bergerak, mendeteksi lingkungan, serta mengambil keputusan dalam navigasi dan pergerakan.

2.2 Sistem Navigasi

Sistem navigasi adalah serangkaian teknologi dan sensor yang digunakan untuk menentukan posisi, arah, dan jalur gerak suatu objek secara akurat. Dalam konteks robotika, sistem ini memungkinkan robot mencapai lokasi tertentu dengan efisien. Penelitian ini menggunakan metode navigasi *waypoints* yang mengandalkan data dari sensor GPS, kompas digital, dan sensor ultrasonik untuk menghindari rintangan. Navigasi *waypoint* bekerja dengan menyimpan titik-titik koordinat lokasi yang dituju, kemudian robot akan bergerak dari satu titik ke titik lainnya berdasarkan data tersebut [4]. Arah gerak dikendalikan melalui *magnetometer* (kompas digital), sedangkan akurasi posisi diperoleh dari GPS.

2.3 Sistem Penggerak Differensial

Pada pergerakan *mobile robot* ini menggunakan sistem pergerakan *differential drive* dengan konfigurasi roda differensial. Gambar 2.1 menunjukkan konfigurasi roda differential pada *mobile robot*. Pada konfigurasi ini kecepatan roda kiri (VL) dan kecepatan roda kanan (VR) saling independen untuk bergerak ke suatu titik (x,y) dan arah hadap (ϕ) tertentu pada suatu area dua dimensi.



Gambar 2.1 Konfigurasi Roda Differensial Pada Mobile Robot

Berdasarkan dengan catatan Mireles [4], apabila kecepatan sudut roda kiri adalah ω_L , kecepatan sudut roda kanan adalah ω_R dan radius roda adalah r maka kecepatan linear dan kecepatan sudut robot dapat dihitung menggunakan persamaan *forward Kinematic*:

$$V = (Vr + Vl)/2$$

$$\omega = (Vr - Vl)/b$$

Jika kecepatan linier dan kecepatan sudut diketahui dan b adalah jarak antara dua roda., maka kecepatan sudut roda dapat dihitung dengan persamaan *Inverse Kinematic*:

$$\omega_L = (V - (b/2) \times \omega)/r$$

$$\omega_R = (V + (b/2) \times \omega)/r$$

Keterangan:

b = jarak antara roda kanan dan kiri

r = jari-jari roda

ω = kecepatan sudut

V = kecepatan linear

2.3.1 Encoder

Encoder digunakan untuk mengukur jarak tempuh berdasarkan jumlah putaran roda. Data berupa jumlah pulsa yang dihitung dalam setiap putaran. Untuk mendapatkan jumlah pulsa setiap satu kali putaran roda digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Keliling roda} = 2\pi r$$

$$\text{Pulsa/mm} = \text{resolusi encoder} / \text{keliling roda}$$

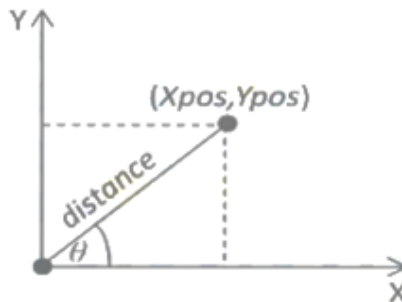
Pada sistem gerak diferensial terdapat dua roda, yaitu roda kanan dan roda kiri dan dimisalkan jumlah pulsa/mm untuk roda kanan adalah $R_encoder$ dan roda kiri adalah $L_encoder$ dan jarak antara dua roda adalah *wheel base* maka didapatkan jarak tempuh (*distance*) dan sudut orientasi (θ). Rumusnya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Jarak tempuh} &= (L_encoder + R_encoder) / 2 \\ \text{Sudut orientasi } (\theta) &= (L_encoder - R_encoder) / \text{wheel base}\end{aligned}$$

Karena θ adalah sudut dalam radian maka untuk mengetahui sudut dalam derajat (*heading*) digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Heading } (^{\circ}) = \theta \times 180 / \pi$$

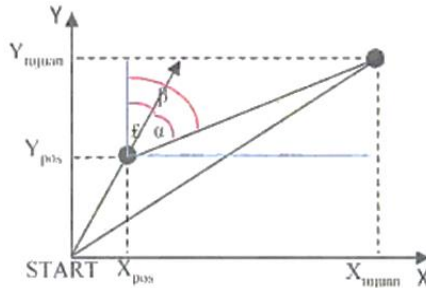
Dari ketentuan diatas didapatkan bahwa nilai *heading* akan bernilai negatif (-) ketika robot berputar melawan arah jarum jam dan akan bernilai positif (+) ketika robot berputar searah dengan jarum jam. Dengan mengetahui jarak (*distance*) dan sudut (θ) maka kita dapat mengetahui koordinat X dan koordinat Y dengan persamaan trigonometri [5].



Gambar 2.2 Sistem Koordinat Pos [5]

Dari gambar diatas maka koordinat dari robot dapat kita ketahui dengan rumus :

$$\begin{aligned}X &= \text{distance} \times \sin(\theta) \\ Y &= \text{distance} \times \cos(\theta)\end{aligned}$$



Gambar 2.3 Sistem Koordinat Tujuan

Untuk mencari *heading error* (α), dimana β adalah target bearing yaitu sudut antara posisi robot saat ini terhadap titik tujuan. Garis berwarna biru adalah garis bantu yang masing-masing sejajar dengan sumbu X dan sumbu Y. Untuk mendapatkan nilai dari β , maka rumus perhitungan sebagai berikut :

$$\beta = \arctan \times \frac{(Y_{tujuan} - Y_{pos})}{(X_{tujuan} - X_{pos})} \quad (2.9)$$

r jari roda robot yang berputar dengan kecepatan sudut ω maka :

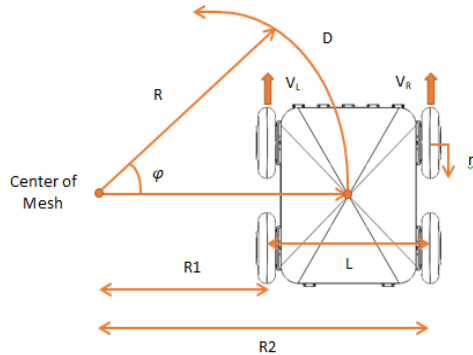
$$\mathbf{V} = \mathbf{r} \times \omega$$

Dan apabila robot bergerak selama t dengan kecepatan V maka jarak D diperoleh dari :

$$\mathbf{D} = \mathbf{V} \times \mathbf{t}$$

Jarak D adalah sebagai berikut :

$$\mathbf{D} = 2\pi r$$



Gambar 2.4 Manuver Robot Pada Sumbu *Center Of Mesh*

Radius titik tengah robot R adalah jarak yang terjadi dibentuk oleh $R1$ dan $R2$. Dengan V_R sebagai kecepatan kanan dan V_L sebagai kecepatan kiri.

$$V_L : R1 = V_R : R2$$

Dan untuk mendapatkan R radius putaran maka dapat dihitung :

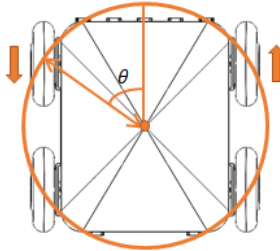
$$R = L/2 \times ((V_R + V_L) / (V_R - V_L))$$

Pada saat $R = \infty$ dan $V_r = V_l$ robot bergerak maju, jika $R = 0$ dan $V_r = -V_l$ maka robot berputar ditempat. Sehingga D bisa diperoleh dengan asumsi kecepatan tidak berubah selama robot bergerak, maka diasumsikan :

$$D = (V_l + V_r) / 2 \times t$$

Dan sudut putar yang didapatkan sebesar :

$$\phi = D/R$$



Gambar 2.5 Robot Berputar Ditempat

2.4 Roda Penggerak

Robot menggunakan motor DC gear seperti JGA25-370. Motor ini dioperasikan melalui *motor driver* dan dikendalikan oleh mikrokontroler. Spesifikasi mencakup tegangan operasi 12–24V, kecepatan rotasi 7.5–1931 RPM, dan torsi hingga 9.5 kg.cm.



Gambar 2.6 Motor JGA25-370 Dc Motor 24v 12v Dc Gear Motor [8]

Spesifikasi sebagai berikut.

Tegangan	12 - 24 v
Torque	0.1 - 9.5 kg.cm
Speed	7.5 - 1931 RPM
Power type	DC motor
Ukuran motor	25 mm
Keluaran diameter poros	4 mm

Tabel 2.1 Spesifikasi Motor JGA25-370 Dc Motor 24v 12v Dc Gear Motor [8]

2.5 Sensor

Sensor merupakan alat utama bagi robot untuk menerima informasi dari lingkungan. Dalam praktiknya, sensor sering mengalami gangguan seperti interferensi lingkungan, keterbatasan jangkauan, dan presisi yang tidak ideal.

2.5.1 Sensor Jarak HC-SR04

HC-SR04 adalah sensor ultrasonik yang umum digunakan untuk pengukuran jarak. Sensor ini beroperasi dengan menghasilkan gelombang ultrasonik dan menghitung durasi yang dibutuhkan gelombang tersebut untuk memantul kembali setelah bertabrakan dengan suatu benda. Melalui pemanfaatan prinsip refleksi, HC-SR04 mampu memastikan jarak antara suatu benda dan sensor secara akurat [7]. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi halangan. Spesifikasinya:

Spesifikasi :

Tegangan Operasional	5V DC
Arus Operasional	15mA
Frekuensi Ultrasonik	40kHz
Jarak Deteksi	2 - 400 cm
Sudut Deteksi	15 derajat
Akurasi	± 3 mm
Dimensi	45 mm x 20 mm x 15 mm

Tabel 2.2 Spesifikasi Sensor HC-SR04 [7]



Gambar 2.7 Sensor HC-SR04 [9]

2.5.2 Sensor GPS Ublox M8N

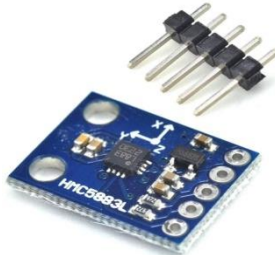
Ublox M8N merupakan sensor GNSS yang kompatibel dengan berbagai satelit seperti GPS, GLONASS, dan GALILEO. Memiliki akurasi posisi 1–2 meter, mendukung komunikasi UART, SPI, dan USB, serta mampu bekerja hingga suhu 80°C.



Gambar 2.8 Sensor Ublox M8N [10]

2.5.3 Sensor Kompas HMC5883L

Sensor magnetometer 3-sumbu ini digunakan untuk menentukan arah hadap (*heading*) robot. Kompatibel dengan Arduino dan menggunakan protokol I2C. [9] Secara spesifik, modul ini bekerja pada rentang tegangan 3V hingga 5V dengan kisaran pengukuran hingga 8 Gauss serta memiliki tingkat akurasi tinggi antara 1° hingga 2°, memanfaatkan tiga sumbu pengukuran (X, Y, Z) untuk mendeteksi medan magnet bumi secara presisi dengan konsumsi daya yang rendah.



Gambar 2.9 Sensor HMC5883L [11]

2.6 Mikrokontroler ESP32 NODEMCU Module Wifi

ESP32 adalah mikrokontroler dengan kemampuan WiFi dan Bluetooth, cocok untuk aplikasi IoT. Spesifikasinya:



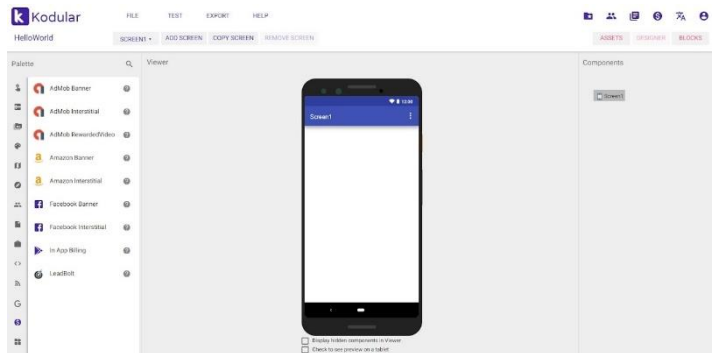
Gambar 2.10 ESP32 NODEMCU Module WiFi [12]

Power supply voltage (USB)	5V
Input/output voltage	3.3V
Required operating current	Min. 500mA
Soc	ESP32-Wroom 32
Clock frequency range	80 MHz / 240MHz
R.A.M.	512kb
External flash memory	4MB
I/o pins	34
Interfaces	SPI, I2C, I2S, Can, Uart
Wi-fi protocols	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps)
Wi-Fi frequency	2.4 GHz - 2.5 GHz
Bluetooth	V4.2 - BLE and Classic Bluetooth
Wireless antenna	PCB
Dimensions	56x28x13mm

Tabel 2.3 Spesifikasi ESP32 NODEMCU Module WiFi [10]

2.7 Kodular

Kodular adalah platform pengembangan aplikasi Android berbasis pemrograman blok visual. Alat ini digunakan untuk membuat aplikasi antarmuka pengguna yang berkomunikasi dengan mobile robot.



Gambar 2.11 Kodular [13]

2.8 Motor Driver

Motor driver L298N digunakan untuk mengontrol motor DC melalui mikrokontroler. Spesifikasinya:



Gambar 2.12 Motor driver

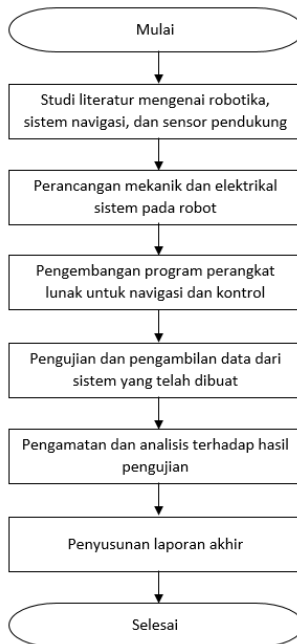
Tegangan Logika	5 V
Tegangan Motor	5 – 35 V
Maximum power	25 W
Maximum Current	2 A

Tabel 2.4 Spesifikasi Module Dual H-Bridge L298N [14]

Bab 3. Metode

3.1 Rancangan Penelitian

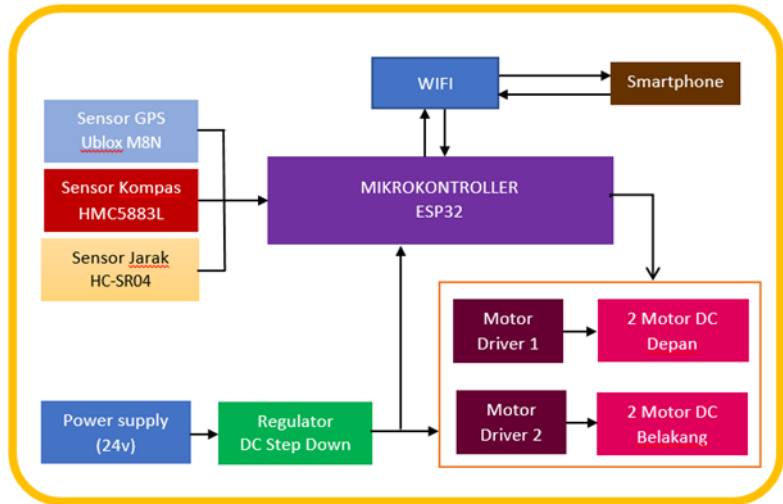
Penelitian ini dilakukan melalui tahapan sistematis untuk mengatasi permasalahan navigasi pada mobile robot berbasis GPS. Kegiatan dimulai dengan studi literatur mengenai robotika, sistem navigasi, dan sensor pendukung, dilanjutkan dengan perancangan mekanik dan elektrikal robot. Selanjutnya, dikembangkan program perangkat lunak untuk navigasi dan kontrol. Sistem yang telah dibangun kemudian diuji dan datanya dianalisis untuk mengevaluasi kinerja. Seluruh hasil penelitian disusun dalam laporan akhir sebagai bentuk dokumentasi ilmiah. Tahapan tersebut ditunjukkan secara skematis pada gambar 3.1 :



Gambar 3.1 Tahapan Rancangan Penelitian

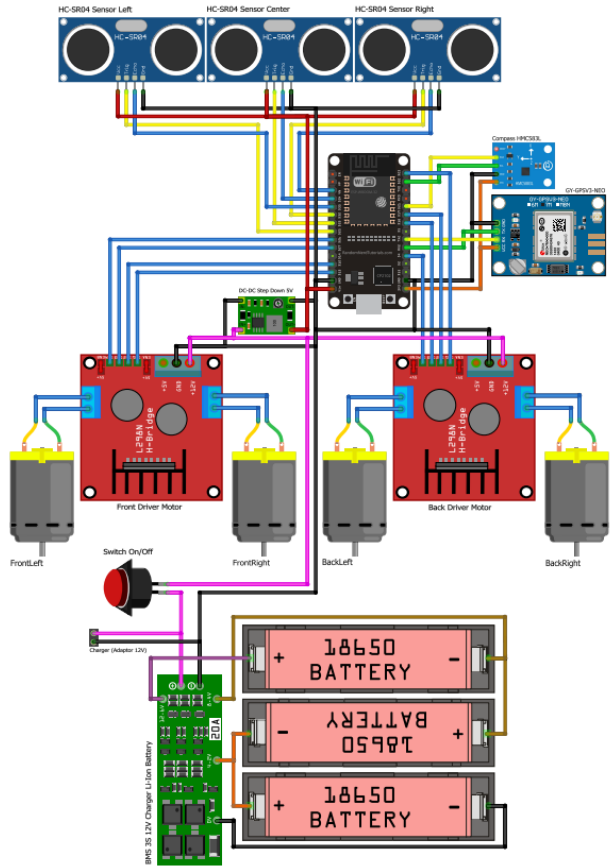
3.1.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dilakukan dengan menyusun sistem berdasarkan masukan dari sensor dan pengolahan data oleh mikrokontroler.



Gambar 3.2 Diagram Blok Perangkat Keras

Gambar 3.2 menunjukkan diagram blok perangkat keras yang dirancang, sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat pengendali yang mengintegrasikan seluruh komponen masukan, komunikasi, dan keluaran. Informasi posisi diperoleh dari sensor GPS Ublox M8N, sedangkan orientasi arah robot ditentukan menggunakan sensor kompas HMC5883L. Sensor ultrasonik HC-SR04 berfungsi mendeteksi rintangan di sekitar robot sehingga dapat mendukung proses navigasi yang aman. Data dari ketiga sensor tersebut kemudian diproses untuk memberikan keluaran (output) berupa sinyal PWM ke dua Motor Driver L298N. Motor driver ini kemudian mengatur arah putaran dan kecepatan dari 4 unit Motor DC (2 di depan dan 2 di belakang) berdasarkan kalkulasi navigasi. Sistem ini juga terhubung dengan Smartphone menggunakan modul WiFi internal pada ESP32 untuk komunikasi dua arah dengan antarmuka aplikasi. Dengan integrasi ini sistem mampu melakukan navigasi berbasis koordinat GPS, mempertahankan orientasi arah, menghindari rintangan, serta menyediakan fasilitas monitoring dan pengendalian secara real-time.



fritzing

Gambar 3.3 Wiring Diagram

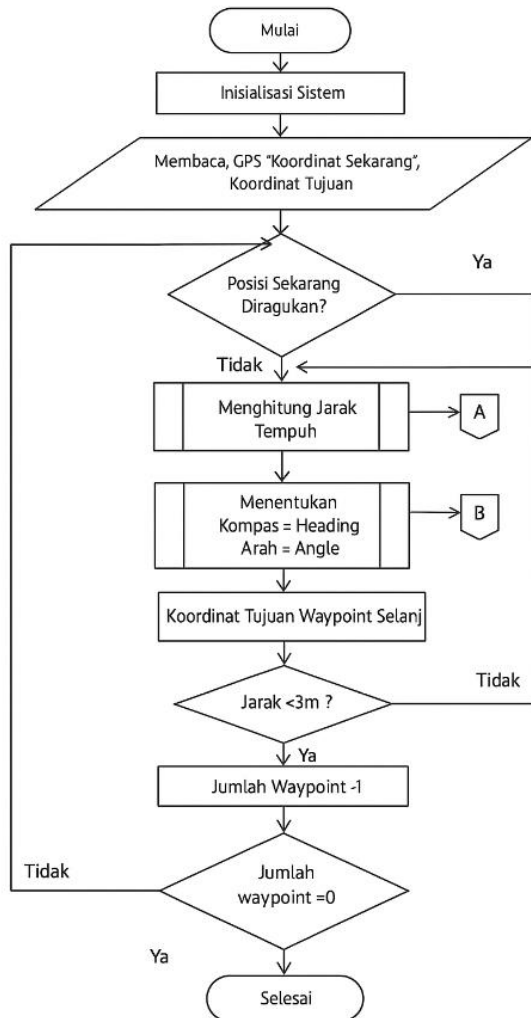
Wiring diagram digunakan untuk menunjukkan konektivitas antar komponen seperti sensor, mikrokontroler, motor, dan driver motor. Berikut adalah pin I/O dari wiring diagram diatas.

PIN ESP32	PIN Sensor dan Motor driver
Pin D25	Trigger HC-SR04 Sensor Left
Pin D35	Echo HC-SR04 Sensor Left
Pin D33	Trigger HC-SR04 Sensor Center
Pin D34	Echo HC-SR04 Sensor Center
Pin D32	Trigger HC-SR04 Sensor Right
Pin VN	Echo HC-SR04 Sensor Right
Pin D22	SCL Compass HMC583L
Pin D23	SDA Compass HMC583L
Pin RX2	TX GPS
Pin TX2	RX GPS
Pin D13	IN 1 front driver motor
Pin D12	IN 2 front driver motor
Pin D27	IN 3 front driver motor
Pin D26	IN 4 front driver motor
Pin D23	input 1 back driver motor
Pin D19	input 2 back driver motor
Pin D18	input 3 back driver motor
Pin D4	input 4 back driver motor
Pin Vin	Output+ DC Stepdown
Pin GND	Output- DC Stepdown

Tabel 3.1 Pin I/O dari Wiring Diagram

3.1.2 Sistem Perancangan Perangkat Lunak

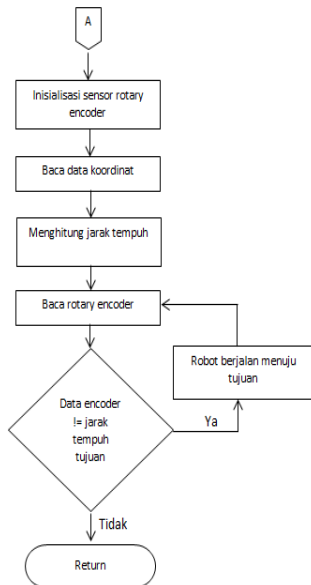
Perancangan perangkat lunak melibatkan algoritma navigasi berdasarkan metode GPS waypoints, pengukuran jarak, dan arah hadap.



Gambar 3.4 Diagram Alir Navigasi Waypoint

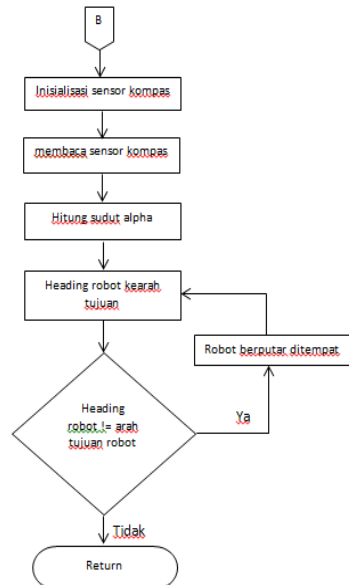
Diagram ini menggambarkan alur sistem navigasi mulai dari menerima data GPS hingga mengatur motor agar menuju ke titik waypoint selanjutnya. Penjelasan alur meliputi:

- Inisialisasi sensor
- Pembacaan koordinat GPS
- Perhitungan jarak ke waypoint
- Koreksi arah menggunakan data kompas
- Penghindaran rintangan melalui sensor ultrasonic



Gambar 3.5

Diagram Alir Penentuan Jarak Tempuh



Gambar 3.6

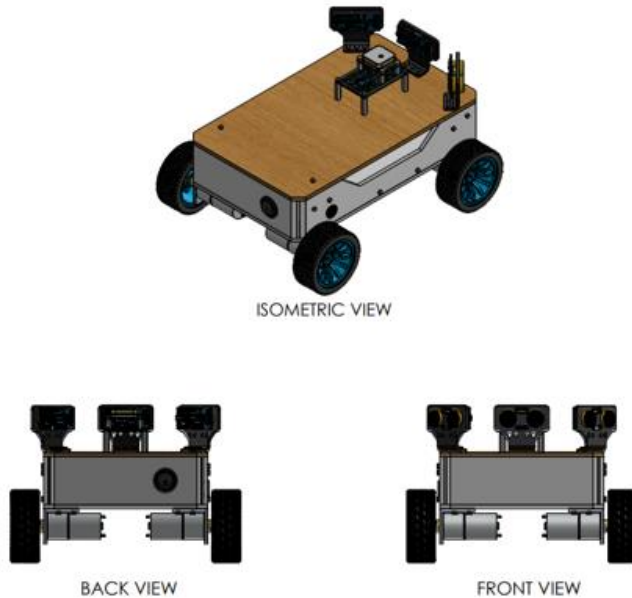
Diagram Alir Arah Hadap Tujuan

Pada gambar 3.5 Menunjukkan logika pengukuran jarak berdasarkan koordinat GPS dan heading, serta pergerakan robot berdasarkan kecepatan dan waktu tempuh. Dan gambar 3.6 Mengilustrasikan proses perhitungan heading berdasarkan perbedaan koordinat posisi robot terhadap tujuan dan koreksi sudut rotasi.

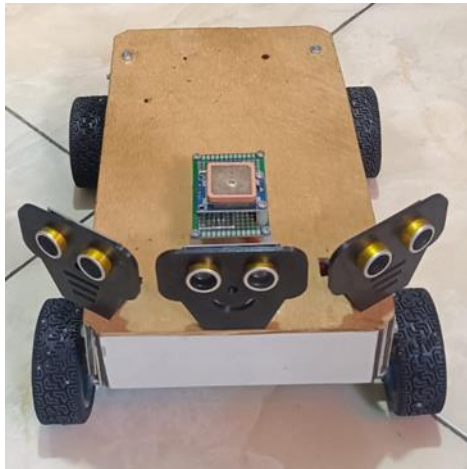
3.1.3 Desain Perancangan Mekanik

Desain mekanik robot menggunakan bahan aluminium berbentuk persegi panjang sebagai rangka utama. Deskripsi desain:

- Dimensi: panjang 255mm × lebar 220 mm× tinggi 165 mm
- Menggunakan 4 roda sebagai penggerak utama yang dikontrol oleh 2 *motor driver*.
- 3 sensor ultrasonik diletakkan di bagian depan kiri, tengah, dan kanan untuk deteksi halangan.
- Sensor GPS dan kompas diposisikan di bagian atas tengah untuk menghindari gangguan medan magnet dari motor dan memaksimalkan penerimaan sinyal satelit.



Gambar 3.7 Desain 3D dan Proyeksi Sudut Pandang Robot



Gambar 3.8 Bentuk Fisik Perangkat Keras Robot

3.2 Metode Pengujian

Metode pengujian yang dilakukan pada penelitian adalah berdasarkan tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat berjalan dan menghasilkan data yang akurat. Rincian metode, parameter yang diukur, serta kriteria keberhasilannya dirangkum pada Tabel 3.1 berikut.

Tujuan Penelitian	Metode Pengujian	Parameter yang diukur	Kriteria Keberhasilan
Menerapkan sistem GPS untuk navigasi <i>mobile robot</i> di lingkungan luar ruangan.	Robot diuji pada lintasan terbuka dengan beberapa titik referensi yang koordinatnya telah diukur menggunakan GPS referensi. Data koordinat robot direkam	Akurasi posisi, kestabilan koordinat, waktu memperoleh GPS fix, dan kontinuitas data GPS.	GPS memperoleh fix secara konsisten dan galat posisi (deviasi) rata-rata memenuhi toleransi sistem berada dalam radius < 2 meter.

	saat diam dan bergerak.		
Menentukan jalur pergerakan robot dengan metode <i>waypoints</i> .	Beberapa <i>waypoint</i> (titik tujuan) disusun menjadi lintasan lurus, berbelok, dan kompleks di area uji. Robot diperintahkan bergerak dari titik awal hingga <i>waypoint</i> (WP) terakhir secara berurutan.	Waypoint success rate, dan akurasi pencapaian target.	Robot berhasil mencapai seluruh titik <i>waypoint</i> (success rate 100%) dan tetap berada dalam batas radius toleransi yang ditetapkan adalah < 2 meter.
Menentukan arah gerak robot berdasarkan koordinat GPS yang telah ditentukan.	Arah target dihitung dari posisi koordinat robot saat ini menuju koordinat <i>waypoint</i> . Nilai arah tersebut (Target Heading) dibandingkan dengan arah aktual robot yang diperoleh dari sensor kompas (HMC5883L).	Heading target, heading aktual, heading error, dan keberhasilan mencapai arah tujuan.	Robot mampu mengoreksi arah secara dinamis dan bergerak lurus menuju <i>waypoint</i> dengan galat heading (error) yang masih mencapai <i>waypoint</i> pada radius < 2 m.

Tabel 3.2 Metode Pengujian Sistem Navigasi Mobile Robot

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem navigasi mobile robot yang terdiri dari sensor GPS, kompas digital, sensor ultrasonik, serta aplikasi pengendali berbasis Kodular. Pengujian dilaksanakan di area luar ruangan (*outdoor*) pada lingkungan Politeknik Negeri Batam, dengan skenario pengujian yang mencakup tiga titik *waypoint*.

4.1.1 Hasil Pengujian Sensor GPS

Pengujian dilakukan untuk mengetahui akurasi pembacaan posisi dari sensor Ublox M8N yang dimana penerapannya sebagai sistem navigasi mobile robot di lingkungan luar ruangan, pengujian dilakukan dengan 4 titik koordinat yang berbeda sebagai referensi dan 3 lintasan berbeda yaitu lintasan lurus, berbelok dan kompleks, kemudian hasil pembacaan dibandingkan dengan data koordinat yang diperoleh gps robot.

Titik Referensi	Koordinat Referensi (Lat, Long)	Koordinat Terbaca (Lat, Long)	Waktu (Detik)	Deviasi (Meter)	Berhasil Toleransi (< 2m)
1	1.119589°, 104.049225°	1.119608°, 104.049225°	10	2.11	Tidak tercapai
	1.119589°, 104.049225°	1.119607°, 104.049232°	15	2.15	Tidak tercapai
	1.119589°, 104.049225°	1.119603°, 104.049232°	20	1.74	tercapai
	1.119589°, 104.049225°	1.119598°, 104.049232°	25	1.27	tercapai
	1.119589°, 104.049225°	1.119596°, 104.049232°	30	1.10	tercapai
2	1.119792°, 104.049231°	1.119801°, 104.049232°	10	1.01	tercapai
	1.119792°, 104.049231°	1.119802°, 104.049232°	15	1.12	tercapai
	1.119792°, 104.049231°	1.119804°, 104.049232°	20	1.34	tercapai

	1.119792°, 104.049231°	1.119805°, 104.049232°	25	1.45	tercapai
	1.119792°, 104.049231°	1.119804°, 104.049232°	30	1.34	tercapai
3	1.119699°, 104.049126°	1.119703°, 104.049133°	10	0.90	tercapai
	1.119699°, 104.049126°	1.119705°, 104.049133°	15	1.03	tercapai
	1.119699°, 104.049126°	1.119709°, 104.049133°	20	1.36	tercapai
	1.119699°, 104.049126°	1.119711°, 104.049133°	25	1.55	tercapai
	1.119699°, 104.049126°	1.119712°, 104.049133°	30	1.64	tercapai
4	1.119703°, 104.049194°	1.119704°, 104.049202°	10	0.90	tercapai
	1.119703°, 104.049194°	1.119701°, 104.049202°	15	0.92	tercapai
	1.119703°, 104.049194°	1.119695°, 104.049194°	20	0.89	tercapai
	1.119703°, 104.049194°	1.119690°, 104.049194°	25	1.45	tercapai
	1.119703°, 104.049194°	1.119688°, 104.049194°	30	1.67	tercapai
Rata-rata				1.35	90%

Tabel 4.1 Pengujian Pembacaan Sensor GPS



Gambar 4.1 Titik Lokasi Pengujian Sensor GPS

4.1.2 Hasil Pengujian Sensor Kompas

Sensor HMC5883L diuji untuk mendeteksi arah hadap (*heading*) robot. Pengujian dilakukan dengan mengarahkan robot ke empat arah mata angin, yaitu Utara (0°), Timur (90°), Selatan (180°), Barat (270°) dan membandingkan data heading dari sensor kompas dengan kompas manual. Pengujian ini juga mencakup proses kalibrasi sensor untuk mencari nilai offset pada sumbu pengukuran (X dan Y) dengan cara mendata nilai minimum serta maksimum saat sensor berputar, sehingga titik tengah (offset) dapat dihitung melalui rumus:

$$\text{offX} = \frac{(\max X + \min X)}{2} \qquad \text{offY} = \frac{(\max Y + \min Y)}{2}$$

Guna mengeliminasi distorsi medan magnet. Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan akurasi data heading dari sensor kompas dengan manual sekaligus memastikan konsistensi hasil pembacaan setelah kompensasi offset diterapkan.

Uji Arah	Kompas Analog (°)	Kompas Digital (°)	Deviasi (°)
Utara	0	1.06	1.06
Timur	90	91.31	1.31
Selatan	180	180.68	0.68
Barat	270	271.20	1.20
Deviasi Rata-Rata			1.06
Deviasi Terkecil			0.68
Deviasi Terbesar			1.31

Tabel 4.2 Pengujian Sensor Kompas Ketika Robot Bergerak di Tempat

Pengujian	Kondisi	Segmen Lintasan	Target Heading (Derajat)	Actual Heading Kompas (Derajat)	Heading Error (Derajat)
1	Lintasan Lurus	Titik Awal ke Waypoint 1	289	279	10
		Waypoint 1 ke Waypoint 2	67	43	24
		Waypoint 2 ke Waypoint 3	259	297	38
	Lintasan Persegi	Titik Awal ke Waypoint 1	282	315	33
		Waypoint 1 ke Waypoint 2	146	116	30
		Waypoint 2 ke Waypoint 3	180	163	17

	Lintasan Kompleks	Titik Awal ke Waypoint 1	218	194	24
		Waypoint 1 ke Waypoint 2	40	353	47
		Waypoint 2 ke Waypoint 3	140	101	39
2	Lintasan Lurus	Titik Awal ke Waypoint 1	311	305	6
		Waypoint 1 ke Waypoint 2	87	28	59
		Waypoint 2 ke Waypoint 3	0	359	1
	Lintasan Persegi	Titik Awal ke Waypoint 1	30	344	46
		Waypoint 1 ke Waypoint 2	123	102	21
		Waypoint 2 ke Waypoint 3	180	171	9
	Lintasan Kompleks	Titik Awal ke	232	209	23

		Waypoint 1			
		Waypoint 1 ke Waypoint 2	32	348	44
		Waypoint 2 ke Waypoint 3	44	28	16
3	Lintasan Lurus	Titik Awal ke Waypoint 1	280	266	14
		Waypoint 1 ke Waypoint 2	93	31	47
		Waypoint 2 ke Waypoint 3	0	2	2
	Lintasan Persegi	Titik Awal ke Waypoint 1	81	42	39
		Waypoint 1 ke Waypoint 2	82	62	20
		Waypoint 2 ke Waypoint 3	115	138	17
	Lintasan Kompleks	Titik Awal ke Waypoint 1	227	203	24

		Waypoint 1 ke Waypoint 2	0	314	46
		Waypoint 2 ke Waypoint 3	129	69	60
4	Lintasan Lurus	Titik Awal ke Waypoint 1	303	281	22
		Waypoint 1 ke Waypoint 2	49	37	12
		Waypoint 2 ke Waypoint 3	267	332	57
	Lintasan Persegi	Titik Awal ke Waypoint 1	85	36	49
		Waypoint 1 ke Waypoint 2	143	112	31
		Waypoint 2 ke Waypoint 3	320	112	52
	Lintasan Kompleks	Titik Awal ke Waypoint 1	273	234	39
		Waypoint 1 ke	41	352	49

		Waypoint 2			
		Waypoint 2 ke Waypoint 3	128	77	51
5	Lintasan Lurus	Titik Awal ke Waypoint 1	304	245	49
		Waypoint 1 ke Waypoint 2	117	73	44
		Waypoint 2 ke Waypoint 3	265	308	43
	Lintasan Persegi	Titik Awal ke Waypoint 1	45	31	9
		Waypoint 1 ke Waypoint 2	131	107	24
		Waypoint 2 ke Waypoint 3	141	154	13
	Lintasan kompleks	Titik Awal ke Waypoint 1	263	236	37
		Waypoint 1 ke Waypoint 2	0	349	11

		Waypoint 2 ke Waypoint 3	128	77	51
Rata-rata error					28

Tabel 4.3 Pembacaan Kompas Saat Robot Bermanuver Pada Jalur Waypoint

4.1.3 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian dilakukan dengan menempatkan objek pada 5 jarak yang berbeda dengan interval 10 cm dari sensor **HC-SR04** dan mencatat hasil pengukuran. Pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 dilakukan dengan membandingkan jarak aktual (diukur menggunakan mistar atau meteran) dengan jarak yang dibaca sensor. Dari hasil pengujian tersebut, nilai faktor koreksi dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Faktor Koreksi} = \frac{\text{Jarak Aktual}}{\text{Jarak Sensor}}$$

Nilai faktor koreksi tersebut kemudian di gunakan untuk memperbaiki hasil pembacaan sensor dengan rumus:

$$\text{Jarak Koreksi} = \text{Jarak Sensor} * \text{Faktor Koreksi}$$

Uji	Sensor	Jarak Aktual (cm)	Jarak Sensor (cm)	Faktor Koreksi	Rata-Rata Error Sebelum Kalibrasi (cm)	Jarak Terkoreksi (cm)	Rata-Rata Error Setelah Kalibrasi (cm)
1	Kiri	10	10.54	0.54	0.848	9.85	0.334
2		20	20.37	0.37		20.15	
3		30	29.34	0.66		29.54	
4		40	39.12	0.88		39.79	
5		50	48.21	1.79		49.30	
1	Tengah	10	9.79	0.21	0.956	9.98	0.150
2		20	19.33	0.67		19.95	
3		30	29.27	0.73		30.34	
4		40	38.79	1.21		40.29	

5		50	48.04	1.96		49.95	
1	Kanan	10	10.56	0.56	0.738	9.84	0.242
2		20	20.69	0.69		20.44	
3		30	29.63	0.37		29.80	
4		40	39.29	0.71		39.91	
5		50	48.64	1.36		49.68	

Tabel 4.4 Pengujian Pembacaan Sensor Ultrasonik

Pada Tabel 4.5 dilakukan pengujian menghindari halangan yang ada di sekitar dengan jarak batas deteksi 15 cm terhadap objek, maka robot akan menghindari halangan tersebut

Pengujian	Jumlah Objek Pada Jalur	Keterangan
1	1	Berhasil menghindari
2	2	Berhasil menghindari
3	3	Berhasil menghindari
4	2	Berhasil menghindari
5	1	Berhasil menghindari
6	2	Berhasil menghindari
7	3	Berhasil menghindari
8	2	Berhasil menghindari
9	1	Berhasil menghindari
10	2	Berhasil menghindari

Tabel 4.5 Pengujian Pembacaan Sensor Ultrasonik Terhadap Halangan

4.1.4 Pengujian Jalur Waypoint

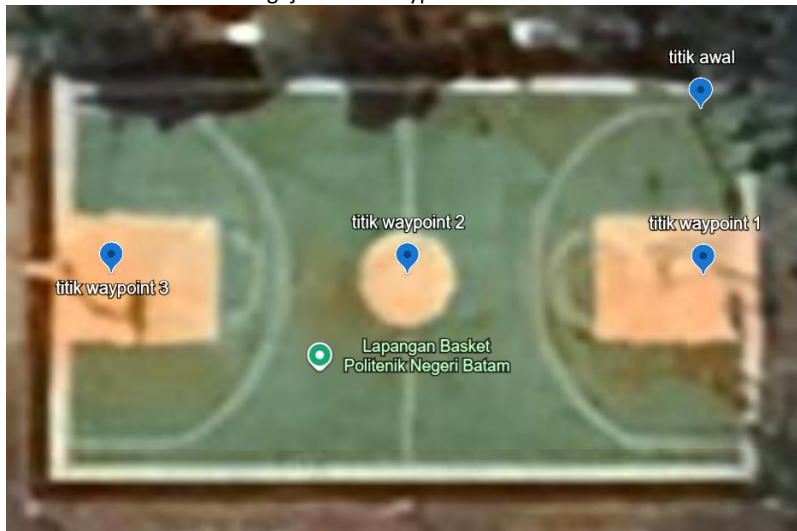
Pengujian dilakukan dengan membuat tiga titik waypoint dan mengamati kemampuan robot dalam mengikuti jalur tersebut. Data dicatat berdasarkan apakah robot sampai pada titik yang diinginkan dan deviasi arah/jarak dari titik tujuan.

Pengujian	Titik Referensi	Koordinat Referensi (Lat, Long)	Koordinat Terbaca (Lat, Long)	Deviasi (Meter)	Status Toleransi (< 2m)
1	titik awal	1.119589°, 104.049225°	1.119605, 104.049225	1.78	tercapai

2		1.119589°, 104.049225°	1.119600, 104.049225	1.22	tercapai
3		1.119589°, 104.049225°	1.119603, 104.049232	1.74	tercapai
4		1.119589°, 104.049225°	1.119598, 104.049232	1.27	tercapai
5		1.119589°, 104.049225°	1.119595, 104.049232	1.03	tercapai
1	waypoint 1	1.119593°, 104.049179°	1.119590°, 104.049187°	0.90	tercapai
2		1.119593°, 104.049179°	1.119602°, 104.049179°	1.00	tercapai
3		1.119593°, 104.049179°	1.119582°, 104.049179°	1.22	tercapai
4		1.119593°, 104.049179°	1.119601°, 104.049168°	1.51	tercapai
5		1.119593°, 104.049179°	1.119597°, 104.049168°	1.30	tercapai
1	waypoint 2	1.119703°, 104.049179°	1.119697°, 104.049164°	1.84	tercapai
2		1.119703°, 104.049179°	1.119703°, 104.049164°	1.70	tercapai
3		1.119703°, 104.049179°	1.119704°, 104.049164°	1.70	tercapai
4		1.119703°, 104.049179°	1.119697°, 104.049171°	1.11	tercapai
5		1.119703°, 104.049179°	1.119707°, 104.049171°	0.96	tercapai
1	waypoint 3	1.119816°, 104.049194°	1.119819°, 104.049210°	1.72	tercapai
2		1.119816°, 104.049194°	1.119805°, 104.049194°	1.31	tercapai
3		1.119816°, 104.049194°	1.119806°, 104.049194°	1.17	tercapai

4		1.119816°, 104.049194°	1.119807°, 104.049202°	1.34	tercapai
5		1.119816°, 104.049194°	1.119817°, 104.049210°	1.70	tercapai
Rata-rata				1.33	100%

Tabel 4.6 Pengujian GPS Waypoint Pada Lintasan Lurus



Gambar 4.2 Titik Lokasi Pengujian Pada Lintasan Lurus

Pengujian	Titik Referensi	Koordinat Referensi (Lat, Long)	Koordinat Terbaca (Lat, Long)	Deviasi (Meter)	Status Toleransi (< 2m)
1	titik awal	1.119612°, 104.049133°	1.119613°, 104.049141°	0.90	tercapai
2		1.119612°, 104.049133°	1.119595°, 104.049133°	1.89	tercapai
3		1.119612°, 104.049133°	1.119613°, 104.049141°	0.90	tercapai
4		1.119612°, 104.049133°	1.119597°, 104.049133°	1.67	tercapai

5		1.119612°, 104.049133°	1.119600°, 104.049133°	1.34	tercapai
1	waypoint 1	1.119796°, 104.049141°	1.119793°, 104.049156°	1.74	tercapai
2		1.119796°, 104.049141°	1.119783°, 104.049133°	1.66	tercapai
3		1.119796°, 104.049141°	1.119793°, 104.049118°	2.57	tidak tercapai
4		1.119796°, 104.049141°	1.119795°, 104.049126°	1.70	tercapai
5		1.119796°, 104.049141°	1.119789°, 104.049133°	1.19	tercapai
1	waypoint 2	1.119792°, 104.049231°	1.119812°, 104.049225°	1.52	tercapai
2		1.119792°, 104.049231°	1.119810°, 104.049217°	2.04	tidak tercapai
3		1.119792°, 104.049231°	1.119798°, 104.049217°	1.71	tercapai
4		1.119792°, 104.049231°	1.119810°, 104.049225°	1.41	tercapai
5		1.119792°, 104.049231°	1.119807°, 104.049225°	1.14	tercapai
1	waypoint 3	1.119599°, 104.049255°	1.119620°, 104.049225°	2.24	tidak tercapai
2		1.119599°, 104.049255°	1.119614°, 104.049255°	1.58	tercapai
3		1.119599°, 104.049255°	1.119603°, 104.049248°	0.94	tercapai
4		1.119599°, 104.049255°	1.119608°, 104.049248°	1.28	tercapai
5		1.119599°, 104.049255°	1.119609°, 104.049248°	1.36	tercapai
Rata-rata				1.54	85%

Tabel 4.7 Pengujian GPS Waypoint Pada Lintasan Berbelok



Gambar 4.3 Titik Lokasi Pengujian Pada Lintasan Berbelok

Pengujian	Titik Referensi	Koordinat Referensi (Lat, Long)	Koordinat Terbaca (Lat, Long)	Deviasi (Meter)	Status Toleransi (< 2m)
1	titik awal	1.119679°, 104.049248°	1.119648°, 104.049240°	0.90	tercapai
2		1.119679°, 104.049248°	1.119690°, 104.049248°	1.89	tercapai
3		1.119679°, 104.049248°	1.119689°, 104.049248°	0.90	tercapai
4		1.119679°, 104.049248°	1.119690°, 104.049248°	1.2	tercapai
5		1.119679°, 104.049248°	1.119695°, 104.049248°	1.78	tercapai
1	waypoint 1	1.119589°, 104.049225°	1.119598°, 104.049232°	1.36	tercapai
2		1.119589°, 104.049225°	1.119595°, 104.049232°	1.07	tercapai
3		1.119589°, 104.049225°	1.119596°, 104.049232°	1.15	tercapai

4		1.119589°, 104.049225°	1.119588°, 104.049232°	0.85	tercapai
5		1.119589°, 104.049225°	1.119597°, 104.049232°	1.18	tercapai
1	waypoint 2	1.119699°, 104.049126°	1.119690°, 104.049118°	1.31	tercapai
2		1.119699°, 104.049126°	1.119689°, 104.049118°	1.35	tercapai
3		1.119699°, 104.049126°	1.119687°, 104.049126°	1.35	tercapai
4		1.119699°, 104.049126°	1.119690°, 104.049118°	1.29	tercapai
5		1.119699°, 104.049126°	1.119688°, 104.049126°	1.25	tercapai
1	waypoint 3	1.119793°, 104.049232°	1.119802°, 104.049225°	1.35	tercapai
2		1.119793°, 104.049232°	1.119785°, 104.049225°	1.21	tercapai
3		1.119793°, 104.049232°	1.119799°, 104.049225°	1.10	tercapai
4		1.119793°, 104.049232°	1.119799°, 104.049225°	1.08	tercapai
5		1.119793°, 104.049232°	1.119800°, 104.049225°	1.10	tercapai
Rata-rata				1.21	100%

Tabel 4.8 Pengujian GPS Waypoint Pada Lintasan Kompleks

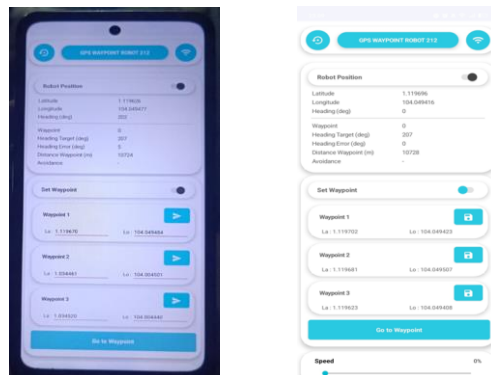


Gambar 4.4 Titik Lokasi Pengujian Pada Lintasan Kompleks

4.1.5 Pengujian Aplikasi Kodular

Aplikasi digunakan untuk:

- Mengirim titik koordinat ke ESP32.
- Menerima data posisi robot.
- Menampilkan data real-time (latitude, longitude, heading).



Gambar 4.5 Tampilan Pada Aplikasi Kodular

Pada aplikasi kodular terdapat fitur-fitur yang memiliki fungsi masing masing yang ada pada tabel berikut.

Kategori	Nama Fitur	Fungsi
Header	Ikon Refresh / Reset	Memperbarui data telemetry secara manual atau merefresh koneksi tampilan aplikasi.
	GPS WAYPOINT ROBOT 212	Nama identitas perangkat/robot yang terhubung.
	Ikon Wi-Fi	Indikator status koneksi nirkabel antara ponsel dan mikrokontroler robot.
Robot Position (Monitoring)	Toggle Switch	Sakelar utama untuk mengaktifkan atau mematikan pembacaan telemetry posisi robot.
	Latitude	Menampilkan koordinat lintang (Latitude) posisi robot saat ini dari modul GPS.
	Longitude	Menampilkan koordinat bujur (Longitude) posisi robot saat ini dari modul GPS.
	Heading	Menunjukkan arah/orientasi hadap robot saat ini dalam derajat (0° - 360°).
	Waypoint	Nomor urut titik tujuan (waypoint) yang sedang dituju oleh robot.
	Heading Target (deg)	Arah/sudut derajat tujuan yang harus dihadapi robot untuk mengarah ke waypoint target.
	Heading Error (deg)	Selisih sudut antara arah robot (Heading) dan arah target (Heading Target) sebagai acuan koreksi arah robot.
	Distance Waypoint (m)	Menampilkan jarak tersisa menuju titik waypoint target dalam satuan meter.
	Avoidance	Indikator status/jarak dari sensor ultrasonik membaca halangan untuk mencegah tabrakan.

Set Waypoint (Konfigurasi)	Toggle Switch	Sakelar untuk mengaktifkan mode pemetaan atau pengiriman koordinat waypoint.
	Waypoint 1, 2, & 3	Menampilkan nilai koordinat target (Latitude & Longitude) untuk masing-masing titik acuan.
	Tombol Simpan	Menyimpan koordinat yang ditentukan ke dalam memori waypoint tersebut.
	Tombol "Go to Waypoint"	Tombol perintah eksekusi agar robot mulai bergerak menelusuri titik-titik waypoint berurutan.
Speed Control	Slider Speed (%)	Mengatur batas kecepatan motor/gerak robot secara manual dari 0 (berhenti) hingga 100 (maksimal).

Tabel 4.9 Fitur Pada Aplikasi Kodular

Pengujian	Parameter	Indikator	Hasil pengujian
Jarak konektivitas	Jarak jangkauan WiFi.	Aplikasi tetap terhubung pada ≤ 15 meter	Berhasil
Posisi Robot	Pembaruan data Posisi (Latitude, Longitude, Heading.	Data posisi robot tampil secara real time	Berhasil
Input Waypoint	Kemampuan input koordinat (wp1, wp2, wp3)	Data koordinat tersimpan pada file yang tersedia.	Berhasil
Sistem Navigasi	Perintah "Go To Waypoint"	Perintah navigasi terkirim ke sistem navigasi robot	Berhasil

Tabel 4.10 Pengujian Aplikasi Kodular

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada sub-bab sebelumnya, pembahasan mengenai kinerja sistem sensor pada robot adalah sebagai berikut:

4.2.1 Analisis Sensor GPS

Berdasarkan Tabel 4.1, pengujian sensor GPS bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi posisi robot. Diperoleh hasil bahwa sensor GPS memiliki rentang deviasi antara 0,45 meter hingga 2,15 meter dengan rata-rata deviasi 1,35 meter. Tingkat keberhasilan mencapai 90%, di mana terdapat dua titik pengujian yang melewati batas toleransi 2 meter (2,11 m dan 2,15 m). Variasi deviasi pada setiap titik pengujian ini umumnya dipengaruhi oleh faktor eksternal lingkungan seperti multipath effect akibat pantulan sinyal dari bangunan atau keterbatasan jumlah satelit yang terkunci (satellite visibility). Meskipun demikian, tingkat akurasi rata-rata yang berada di bawah 2 meter ini sudah sangat memadai untuk kebutuhan navigasi robot pada area terbuka.

4.2.2 Analisis Sensor Kompas

Pengujian sensor kompas yang telah dikalibrasi dengan nilai offset menunjukkan performa pembacaan arah (heading) yang sangat presisi dan selaras dengan spesifikasi resmi pabrikannya. Sensor HMC5883L memiliki standar toleransi akurasi heading pada rentang 1° hingga 2°, sehingga dari Tabel 4.2 nilai deviasi rata-rata hasil pengujian hanya sebesar 1,06° (dengan rentang 0,68° hingga 1,31°) membuktikan bahwa sensor bekerja secara optimal dan bahkan menyentuh batas akurasi tertingginya. Selisih antara kedua nilai heading dihitung sebagai nilai error. Sisa selisih nilai yang sangat kecil ini merupakan hal yang sangat wajar pada sensor magnetometer akibat toleransi minor peletakan fisik atau sisa gangguan magnetik lingkungan sekitar (*soft/hard iron*).

Tingkat akurasi sensor kompas ketika robot bergerak pada jalur waypoint memiliki penyimpangan rata-rata error heading sebesar 28° menunjukkan adanya deviasi yang cukup signifikan antara *target heading* dan *actual heading* kompas. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem navigasi atau sensor kompas yang diuji mengalami gangguan arah, baik akibat interferensi magnetik lingkungan, lonjakan galat interferensi elektromagnetik (Hard-Iron Bias) yang dihasilkan oleh fluks magnetik dari putaran 4 buah motor DC berarus tinggi (Motor JGA25-370) saat robot bermanuver, maupun akumulasi galat orientasi pada pergerakan robot.

4.2.3 Analisis Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik terbagi menjadi dua bagian yaitu akurasi jarak dan deteksi halangan. Data pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa dengan membandingkan hasil pengukuran sensor HC-SR04 terhadap jarak sebenarnya yang diukur menggunakan meteran, Pengujian dilakukan pada jarak 10–50 cm dengan interval 10 cm. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa sebelum kalibrasi, rata-rata error pembacaan sensor berkisar antara 0,738 cm hingga 0,956 cm. Setelah faktor koreksi (offset) diterapkan dalam program, akurasi meningkat drastis dengan rata-rata galat turun menjadi 0,334 cm pada sensor Kiri, 0,150 cm pada sensor Tengah, dan 0,242 cm pada sensor Kanan. Hasil ini membuktikan bahwa sensor mampu melakukan pengukuran jarak dengan presisi tinggi pada rentang 10 cm hingga 50 cm. Berdasarkan Tabel 4.4 deteksi halangan robot mencatat keberhasilan 100% pada 10 kali percobaan. Keputusan menetapkan batas deteksi rintangan pada jarak 15 cm terbukti sangat efektif, karena memberikan jeda waktu yang cukup bagi mikrokontroler untuk memproses perlambatan inersia motor (braking) sebelum terjadi tabrakan fisik.

4.2.4 Analisis Pengujian Jalur Waypoint

Dari hasil pengujian jalur waypoint pada Tabel 4.2, Tabel 4.3, dan Tabel 4.4, rata-rata deviasi jarak yang dihasilkan berturut-turut adalah 1,33 meter (lintasan lurus), 1,54 meter (lintasan berbelok), dan 1,21 meter (lintasan kompleks). Hal ini menunjukkan bahwa robot mampu mendekati titik tujuan dengan tingkat akurasi yang berada di dalam batas radius toleransi 2 meter. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan manuver (success rate) sebesar 100% pada lintasan lurus dan kompleks. Pada lintasan berbelok, tingkat keberhasilan tercatat sebesar 85% karena terdapat 3 percobaan yang deviasinya melebihi 2 meter. Penurunan performa pada lintasan berbelok ini adalah dampak langsung dari lonjakan heading error (28°) pada kompas saat robot bergerak. Karena sistem pergerakan menggunakan metode *Differential Drive*, kesalahan pembacaan kompas menyebabkan robot terlambat menyadari bahwa ia telah berbelok terlalu jauh. Hal ini memicu fenomena overshooting (osilasi pergerakan) saat robot melakukan manuver berbelok untuk mengoreksi arah. Secara keseluruhan, data tersebut membuktikan bahwa sistem navigasi robot masih mampu bekerja dengan baik dan stabil dalam menyusuri jalur waypoint.

4.2.5 Analisis Pengujian Aplikasi Kodular

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, seluruh fitur utama pada aplikasi Kodular menunjukkan kinerja yang sesuai dengan spesifikasi sistem yang

telah dirancang. Pada pengujian jarak konektivitas, aplikasi berhasil mempertahankan koneksi dengan robot hingga jarak ≤ 15 meter, yang mengindikasikan bahwa komunikasi berbasis WiFi berjalan secara stabil dalam cakupan pengujian. Pengujian posisi robot menunjukkan bahwa data latitude, longitude, dan heading dapat ditampilkan secara real-time pada aplikasi, sehingga pengguna dapat memantau posisi dan orientasi robot secara akurat. Selain itu, fitur input waypoint berhasil menyimpan koordinat yang dimasukkan pengguna ke dalam file penyimpanan yang tersedia, menandakan bahwa proses pengelolaan data waypoint berfungsi dengan baik. Pada pengujian sistem navigasi, perintah *Go To Waypoint* berhasil dikirim dan diterima oleh sistem robot, yang membuktikan bahwa integrasi antara aplikasi dan sistem navigasi telah berjalan sesuai harapan. Dengan demikian, hasil pengujian secara keseluruhan menunjukkan bahwa aplikasi Kodular memiliki tingkat fungsionalitas yang baik dan mampu mendukung proses pemantauan serta navigasi robot secara efektif dan andal.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian, maka dapat ditarik beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Penerapan sistem GPS untuk navigasi luar ruangan (outdoor) pada mobile robot telah berhasil dilakukan. Sensor GPS Ublox M8N mampu bekerja secara stabil dengan memberikan tingkat akurasi yang baik, dibuktikan dengan nilai deviasi rata-rata posisi sebesar 1,35 meter dan tingkat keberhasilan pembacaan di bawah batas toleransi 2 meter mencapai 90%. Fluktuasi minor pada posisi teridentifikasi sebagai akibat wajar dari efek multipath dan batas Circular Error Probable (CEP).
2. Penentuan jalur pergerakan menggunakan metode waypoints berhasil dirancang dan dieksekusi dengan baik. Mobile robot menunjukkan tingkat keberhasilan manuver (waypoint success rate) mencapai 100% pada lintasan lurus dan lintasan kompleks, serta 85% pada lintasan berbelok. Rata-rata deviasi jarak lintasan juga terjaga dengan baik pada kisaran 1,21 meter hingga 1,54 meter.
3. Penentuan arah gerak berdasarkan koordinat GPS berjalan dengan baik dengan bantuan perhitungan kompas digital. Meskipun sensor magnetik HMC5883L mampu mendeteksi heading aktual dengan rata-rata galat deviasi sangat kecil ($1,06^\circ$) saat robot statis/diam, namun koreksi arah secara dinamis menunjukkan masih memiliki rata-rata galat yang besar yaitu 28° saat bergerak. Hal ini membuktikan bahwa penentuan arah sangat dipengaruhi oleh interferensi elektromagnetik dari putaran motor penggerak saat robot bermanuver dan akumulasi galat orientasi pada pergerakan robot.

5.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan sistem navigasi robot di penelitian selanjutnya agar memiliki performa yang lebih baik sebagai berikut:

1. Untuk meningkatkan kemampuan robot dalam bermanuver di lingkungan yang lebih kompleks, disarankan untuk melakukan transisi ke teknologi sensor LiDAR agar deteksi halangan menjadi lebih responsif.
2. Perlu menambahkan sensor pendukung lainnya (sensor *fusion*) untuk membantu robot mengetahui posisinya dengan lebih tepat, terutama jika sinyal GPS sedang tidak stabil.
3. Menambahkan algoritma pemfilteran data untuk mengintegrasikan data sensor menjadi lebih baik.
4. Meningkatkan kapasitas daya angkut dan rangka mekanik robot guna mendukung implementasi skala fungsional yang lebih besar di masa depan.

Daftar Pustaka

- [1] S. Maharani, "Wheeled Mobile Robot With GPS-Based Waypoint Navigation System and IoT Application", *Telecommunications Computers and Electricals Engineering Journal*, vol. 2, no. 3, pp. 316-325, 2025.
- [2] A. F. Lamapaha, "Sistem Navigasi Waypoint Pada Autonomous Mobile Robot Menggunakan Metode PID", Skripsi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung, 2022.
- [3] S. Wahyuni, M. Latif, A. S. Romadhon, and A. I. Sudianto, "UGV Path Tracking Base On Implementation GPS and Compass", 2024 IEEE 10th Information Technology, pp. 1-6, 2024.
- [4] N. S. D. Oktafiandini, "Sistem Navigasi Waypoint Pada Mobile Robot Menggunakan Kendali Fuzzy Logic", Skripsi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati, Bandung, 2022.
- [5] G. Nirmala and G. Nirmala, "Mobile Robot Localization and Navigation in Artificial Intelligence: Survey", ResearchGate Publications, 2023.
- [6] F. N. A. Pramesti, A. Rusdinar, and I. Purnama, "Raspberry-Pi Based Unmanned Ground Vehicle Location Monitoring System", 2023 3rd International Conference on Electronic, 2023.
- [7] Y.J. Putro, "Implementasi Sistem untuk Mendeteksi Jarak Aman Kendaraan Bermotor menggunakan Arduino dan Sensor Ultrasonik." vol. 4, no.3, 2023
- [8] Aslongdcmotor, "JGA25-370 Dc Motor 24v 12v Dc Gear Motor". Internet: <https://indonesian.aslongdcmotor.com/sale-45223212-dc-small-motor-jga25-370-motor-dc-24v-12v-dc-geared-motor.html> [Juni. 15, 2024]
- [9] Mouser, "Ultrasonic Ranging Module HC - SR04". Internet: <https://www.mouser.com/datasheet/2/813/HCSR04-1022824.pdf> [Juni. 15, 2024]
- [10] Ublox, "GPS U-blox M8N". Internet: https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/u-blox8-M8_ReceiverDescrProtSpec_UBX-13003221.pdf [Juli. 15, 2021]
- [11] Alldatasheet, "HMC5883L Datasheet". Internet: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/428790/HONEYWELL/HMC5883L.html> [Juli. 15, 2021]
- [12] az-delivery, "esp32-developmentboard". Internet: <https://www.az-delivery.de/en/products/esp32-developmentboard> [Juni. 15, 2024]
- [13] I.A. Cahyaningtyas, "Implementasi Esp32 Cam Dan Kodular Berbasis Android Untuk Monitoring Smart Garden." vol. 7, no.4, 2023
- [14] makerstore, "Dual H-Bridge Motor Driver Module – L298N". Internet: <https://www.makerstore.com.au/product/elec-l298n-motor-drv/> [Juni. 15, 2024]