

# Rancang Bangun Sistem Navigasi Robot Beroda Pemandu Disabilitas Netra Menggunakan Metode Waypoint

Ahmad Rausan Fikri, Khairul Anam, Widya Cahyadi  
Fakultas Teknik Universitas Jember  
Jl. Kalimantan 37, Kampus Tegalboto, Jember 68121  
e-mail: khairul@unej.ac.id

**Abstrak**—Dizaman modern ini, bidang robotika menjadi bidang yang populer dalam dunia penelitian untuk perkembangan medis dan alat bantu manusia termasuk bagi disabilitas netra. Dari ulasan di atas, penelitian ini mencari pemecahan masalah bagaimana membuat rancang bangun robot menggunakan sistem navigasi berbasis *Global Positioning System* (GPS) dengan metode *waypoint* yang bisa memandu disabilitas netra di lingkungan terbuka dengan mengasumsikan ditemukan adanya halangan atau lubang. Penelitian navigasi robot ini menggunakan *Linkit ONE* yang dilengkapi modul GPS sebagai penentu letak posisi ordinat bumi, ditambah dengan modul kompas untuk mengetahui arah robot dan *sensor rotary encoder* untuk meminimalkan error posisi robot. Ada dua kali pengujian dengan empat titik *waypoint* yaitu, pengujian saat tidak ada halangan dan lubang serta pengujian saat ada halangan dan lubang. Hasil pengujian pertama didapatkan error rata-rata *waypoint-1* 0,54 meter, *waypoint-2* 1,2 meter, *waypoint-3* 1,9 meter dan *waypoint-4* 1,7 meter. Hasil pengujian ke dua didapatkan error rata-rata *waypoint-1* 1,26-meter, *waypoint-2* 2,18-meter, *waypoint-3* 2,52-meter dan *waypoint-4* 2,44-meter. Jadi, robot pemandu disabilitas netra dengan metode *waypoint* ini memiliki akurasi cukup baik dengan nilai error rata-rata robot di bawah radius 2 meter jika tidak ada halangan dan lubang dan di bawah radius 3 meter jika ada halangan dan lubang.

**Kata kunci:** *navigasi robot, gps, waypoint, disabilitas*

**Abstract**—Robotics has become a popular field of research for developing medical and human aids, including visually impaired people. This paper presents problem-solving of creating a robot that can guide visually impaired people outdoor using a *Global Positioning System* (GPS)-based navigation system with a *waypoint* method. This study uses *Linkit ONE*, which is equipped with a GPS as a determinant of the earth's ordinate position, added with a compass module to determine the robot's direction and a rotary encoder sensor to minimize the error of the robot's position. There are two tests with four waypoints. Firstly, it is a test with no obstacles and holes. Secondly, it is the test with obstacles and holes. The first test results obtained an average error of *waypoint-1* 0.54 m(meters), *waypoint-2* 1.2 m, *waypoint-3* 1.9 m, and *waypoint-4* 1.7 m. Meanwhile, the second test results yielded an average error of *waypoint-1* 1.26 m, *waypoint-2* 2.18 m, *waypoint-3* 2.52 m, and *waypoint-4* 2.44 m. Therefore, the visual disability guidance robot with this *waypoint* method has good accuracy because the average error value of the robot is under a radius of 2 m when there are no obstacles and holes and under a radius of 3 m when there are obstacles and holes.

**Keywords:** *robot navigation, gps, waypoint, disabilities*

Copyright © 2020 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

Saat ini ketergantungan manusia terhadap teknologi semakin besar. Hal ini terlihat dari aktivitas manusia mulai dari bangun tidur hingga tidur lagi selalu bersanding dengan teknologi. Fakta ini menjelaskan bahwa teknologi menjadi sangat penting bagi keberlangsungan hidup manusia itu sendiri. Salah satu teknologi yang dapat memberikan manfaat untuk kehidupan manusia adalah robotika [1]-[2]. Pemanfaatan robot sudah merambah ke berbagai sektor seperti pertanian [3]-[5], industri [6], pendidikan [7], dan kesehatan [8]. Melihat perkembangan robot di berbagai bidang, banyak negara-negara maju

mulai menjadikan robotika sebagai disiplin ilmu sehingga berbagai jenis robot mulai bermunculan seperti *mobile* robot yang sangat populer saat ini.

*Mobile* robot menjadi salah satu jenis robot yang paling sering diteliti. Penelitian mengenai *mobile* robot pada dewasa ini sering kali ditujukan dalam pengembangan teknologi otomasi dalam transportasi, *platform* bergerak untuk robot industri hingga sesuatu yang bersinggungan langsung dengan kehidupan manusia seperti membantu melakukan pekerjaan rumah tangga hingga membantu mereka yang mengalami disabilitas.

Penelitian *mobile* robot untuk membantu orang yang mengalami disabilitas netra menjadi salah satu

objek penelitian yang menarik dan penting. Salah satu penyebabnya adalah jumlah orang buta yang sangat tinggi yakni 39 juta [9]. Penelitian yang dilakukan oleh Irwan Ulrich dan Johann Borenstein telah berhasil membuat sebuah *mobile* robot pemandu disabilitas netra dengan menggunakan sensor ultrasonik untuk menghindari halangan [10]. *Mobile* robot masih fokus untuk menghindari halangan dan membuat roda kembali pada arah awal setelah halangan sudah dihindari. Namun, robot masih secara manual dalam memandu orang buta dengan menggunakan *joy stick*. Penelitian lain yang dilakukan oleh Vladimir Kulyukin menjelaskan robot *Robot Guide* (RG) mampu untuk memandu orang penyandang tuna netra. Robot ini sudah dilengkapi dengan *user interface* dan komunikasi melalui mikrofon, dan sonar sensornya lebih banyak yaitu 16 buah dengan delapan di depan dan delapan di belakang [11]. Robot ini sudah cukup bagus, tetapi robot masih perlu dikembangkan karena robot berjalan pelan dan berhenti ketika ada rute jalan yang tertutup. Setelah itu, robot bisa berjalan lagi untuk mencari ruang yang kosong. Dengan kata lain, robot masih belum bisa menghindari halangan secara langsung karena masih harus berhenti.

Penelitian lain oleh Ahmad Sul Khan Taufik tentang robot untuk membantu orang yang mengalami disabilitas netra juga sudah cukup baik [12]. Namun penelitian ini proses pengujiannya menggunakan medan aspal dan *paving* tanpa ada medan keramik. Selain itu, nilai eror masih cukup besar yaitu radius 11 meter. Oleh sebab itu, penelitian lebih lanjut masih diperlukan. Diego Renan Bruno juga sudah melakukan penelitian robot dan mengujinya untuk disabilitas netra [13]. Namun, robot masih memerlukan *Global Positioning System* (GPS) untuk pengembangan lebih lanjut.

Berdasarkan beberapa poin di atas, dirancanglah sistem navigasi robot beroda untuk orang buta yaitu metode *waypoint*. Metode ini digunakan untuk mengatur gerak dari suatu posisi ke posisi yang dituju, dengan mengasumsikan setiap posisi dalam proses pergerakannya menjadi suatu titik dalam sistem koordinat tertentu [12]. Metode ini diharapkan dapat mengatasi kekurangan pada penelitian sebelumnya. Kontribusi utama dari artikel ini adalah pada otomasi robot yang dalam berjalan menentukan tujuan dan menghindari halangan dan lubang dengan menggunakan GPS.

## II. STUDI PUSTAKA

### A. *Global Positioning System*

*Global Positioning System* (GPS) atau NAVSTAR GPS (*NAVigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*) merupakan sebuah sistem radio navigasi yang mampu menentukan posisi menggunakan beberapa satelit yang saling terhubung. Proyek arsitektur dan sistem GPS dimulai pada tahun 1973 oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat. Satelit yang pertama diluncurkan pada tahun 1978, pada tanggal 26

Juni 1993 24 satelit diluncurkan, dan sistem GPS secara resmi dinyatakan beroperasi pada tahun 1994 [14]. GPS merupakan metode yang paling sering digunakan dalam menentukan posisi sebuah kendaraan [15], [16].

Pada dasarnya GPS terdiri dari tiga segmen utama dalam pengoperasiannya, yaitu segmen angkasa (*space segment*) yang terdiri dari satelit-satelit GPS yang mengorbit sekitar 20.200 km di atas permukaan bumi [16], segmen sistem kontrol (*control system segment/ ground layer*) yang terdiri dari stasiun-stasiun pemonitor dan pengontrol satelit, dan segmen pengguna (*user segment*) yang terdiri dari pengguna GPS termasuk alat-alat penerima, pengolah sinyal dan data GPS [17]. Konsep GPS dalam mengambil data berdasarkan pada waktu yang didapat dari minimal tiga satelit untuk mendapatkan lokasi yang cukup akurat. Setiap satelit GPS memiliki pencatat waktu yang saling terhubung dengan satelit lainnya dan waktu yang ada di bumi dengan pembaharuan lokasi satelit secara terus-menerus. GPS memberikan sinyal satelit dengan kode khusus yang nantinya akan diproses oleh penerima GPS, hal ini memungkinkan penerima untuk menghitung posisi, waktu, dan kecepatan [14].

Jadi pada dasarnya, GPS adalah suatu sistem navigasi yang menyediakan informasi lokasi, kecepatan tiga dimensi dan waktu secara kontinu tanpa bergantung pada waktu dan cuaca. Luas spektrum ketelitian GPS dalam menentukan posisi merupakan salah satu keunggulan yang dimiliki. Pengguna GPS mempunyai keleluasan dalam menentukan posisi sesuai dengan tingkat ketelitian yang diperlukan secara optimal dan efisien sesuai waktu dan biaya. Oleh sebab itu, GPS dapat memberikan pelayanan yang cukup baik sesuai dengan tuntutan ketelitian yang beragam misalnya ketelitian dalam level meter untuk pemetaan dan dalam level milimeter untuk penentuan posisi geodesi.

### B. *Waypoint*

Pada dasarnya metode *waypoint* adalah metode navigasi yang menggunakan beberapa titik tujuan awal dalam menuju titik tujuan utama dengan menggunakan titik koordinat untuk menentukan lokasi tersebut. Koordinat-koordinat itu biasanya menyertakan *longitude*, *latitude*, dan kadang *altitude* untuk keperluan navigasi di udara. Pada metode *waypoint* ini dibutuhkan dua komponen penting yaitu GPS sebagai penentu posisi dan sensor kompas penentu arah [12], [18]. GPS untuk mencari lokasi robot sekarang dan lokasi tujuan robot yang diinisialisasikan dalam bentuk titik koordinat dua sumbu  $x$  dan  $y$  di mana  $x$  *latitude* dan  $y$  *longitude*. Sensor kompas untuk mencari arah *bearing* robot sekarang.

Setelah menentukan koordinat-koordinat yang akan dituju, robot membutuhkan sudut arah (*bearing*) tujuan antara titik posisi sekarang dan titik posisi tujuan. Berikut ini rumus untuk mendapatkan *bearing* tujuan:

$$\beta = a \tan 2(X, Y), \quad (1)$$

Dimana,  $X$  dan  $Y$  adalah dua nilai yang dihitung dari:

$$X = \cos \theta b * \sin \Delta L, \quad (2)$$

$$Y = \cos \theta a * \sin \theta b - \sin \theta a * \cos \theta b * \cos \Delta L. \quad (3)$$

Setelah mendapatkan arah tujuan maka selanjutnya adalah menentukan jarak yang harus ditempuh untuk mencapai titik tujuan yang diinginkan. Nilai jarak dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [19]:

$$a = \sin^2(\Delta\theta/2) + \cos(\theta a) * \cos(\theta b) * \sin^2(\Delta L/2), \quad (4)$$

$$D = R * 2 * a \tan 2\sqrt{a}\sqrt{1-a}, \quad (5)$$

keterangan [20] :

$\beta$  : bearing

$\theta b$  : latitude tujuan

$\theta a$  : latitude sekarang

$\Delta L$ : delta longitude

$D$ : jarak

$R$  : jari-jari bumi (6372,79547759 km)

Ketika koordinat awal tujuan pada program yaitu (-8.165042, 113.714393) dan lokasi robot sekarang oleh GPS adalah (-8.165172, 113.714344) dan arah bearing robot sekarang oleh sensor kompas adalah 102° dengan 0° adalah utara, 90° timur dan seterusnya, maka sebelum melakukan perhitungan, perlu merubah format koordinat ke dalam bentuk radian.

$$\begin{aligned} X &= \cos(-0.14250913539165) * \sin(1.98468970954546 \\ &\quad - 1.98469056475679) \\ &= 0.989862747 * -0.0000085521133375 \\ &= -0.000008465418400338. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= (-0.142506866463623) * \sin(-0.14250913539165) \\ &\quad - \sin(-0.142506866463623) \\ &\quad * \cos(-0.14250913539165) \\ &\quad * \cos(1.98468970954546 - 1.98469056475679) \\ &= 0.989863069 * -0.000022459276956 \\ &\quad 0.989862747 * 1 \\ &= -0.000022006241374512. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= a \tan 2(X, Y) \\ &= (-0.000008465418400338 \\ &\quad - 0.000022006241374512) \\ &= -2.74 = 202^\circ. \end{aligned}$$

Jadi selisih bearing 102° - 202° = 100° robot berputar 100° searah jarum jam.

$$\begin{aligned} a &= \sin^2(-0,000002268928028 / 2) \\ &\quad + \cos(-0,142506866463623) \\ &\quad * \cos(-0,142509135391650) \\ &\quad * \sin^2(-0.00000855211334 / 2) \\ &= (0,000000000012870086 + 0,989863069) \\ &\quad * 0.989862747 * 0,0000000000018284661 \\ &= 0,000000000001792. \end{aligned}$$

$$D = R * 2 * a \tan 2$$

$$\begin{aligned} &(\sqrt{0,000000000000179}, \sqrt{1-0,000000000000179}) \\ &= 6372795,477598 * 2 * 0,0000122709100385997 \\ &= 15,64 \text{ meter}. \end{aligned}$$

Jadi robot akan berjalan ke arah 202° sejauh 15.64 meter.

Ketika bearing tujuan sudah diketahui, selisih nilai bearing tujuan dan bearing sekarang bisa diketahui. Hal ini membuat robot akan mengetahui sejauh mana robot berputar untuk menuju bearing tujuan. Dengan diketahuinya jarak dari titik lokasi sekarang dengan titik lokasi tujuan, robot akan dengan mudah mengetahui sejauh mana robot berjalan ke depan untuk mencapai lokasi tujuan yang ditentukan dan melanjutkan ke tujuan selanjutnya dengan cara yang sama. Ini adalah bagaimana metode waypoint pada robot bekerja.

### C. Linkit ONE

Linkit ONE adalah mikrokontroler yang dikembangkan dan dirilis oleh Mediatek dan SeeedStudio. Board ini diciptakan untuk membuat peralatan yang bisa dimanfaatkan oleh manusia untuk proyek-proyek Internet of Things atau IoT. Sesuatu yang spesial dari chip ini adalah kelengkapan fiturnya seperti bluetooth, Wifi, GPS dan GSM yang dikemas dalam paket kecil. Board ini menggunakan bahasa pemrograman yang sama dengan Arduino sehingga memudahkan pembuatan prototipe. Pin out ini hampir mirip dengan Arduino sehingga semua komponen Arduino kompatibel dengannya. Board ini juga memiliki slot kartu SD, jack audio, dan soket terpisah untuk I2C dan UART seperti dalam Gambar 1.

## III. METODE

### A. Perancangan Alat

Robot beroda ini menggunakan Linkit ONE yang sudah dilengkapi dengan modul GPS sebagai penentu letak posisi ordinat bumi yang juga bisa dipantau dengan

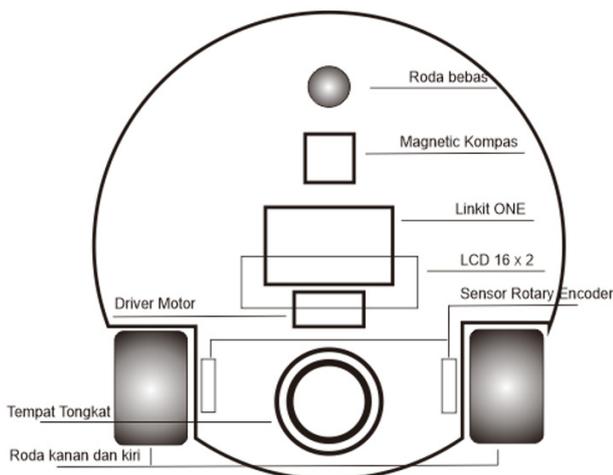


Gambar 1. Linkit ONE

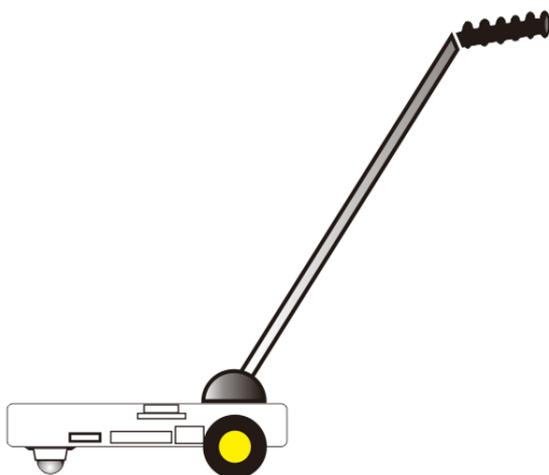
menggunakan *android*. Kemudian robot ini dilengkapi dengan modul kompas untuk mengetahui arah dari robot dan selanjutnya akan mengambil arah mana. Untuk meminimalkan eror dari posisi robot saat melakukan pergerakan, dua buah sensor *rotary encoder* dipasang di as motor kanan dan motor kiri. Sensor *rotary encoder* ini digunakan untuk menghitung kecepatan dan banyaknya putaran roda untuk mengetahui jarak tempuh dari robot. LCD 16 x 2 digunakan untuk menampilkan *heading target*, *heading* robot, dan jarak robot dengan tujuan. Gambar 2 menunjukkan tampak atas dan Gambar 3 menunjukkan tampak samping perancangan desain robot.

**B. Blok Diagram**

Gambar 4 menunjukkan blok diagram robot beroda sebagai pemandu disabilitas netra yang melakukan navigasi secara otomatis di luar ruangan dengan menggambarkan *mindmap* dari alur cara kerja robot. Pada bagian *input*, ada beberapa komponen seperti sensor kompas untuk memberikan informasi mengenai arah robot sekarang, sensor *rotary encoder* untuk memberikan informasi jarak tempuh robot, sensor *ultrasonic* untuk mendeteksi halangan dan lubang di depan robot, dan modul GPS yang



Gambar 2. Tampak atas perancangan desain



Gambar 3. Tampak samping perancangan desain

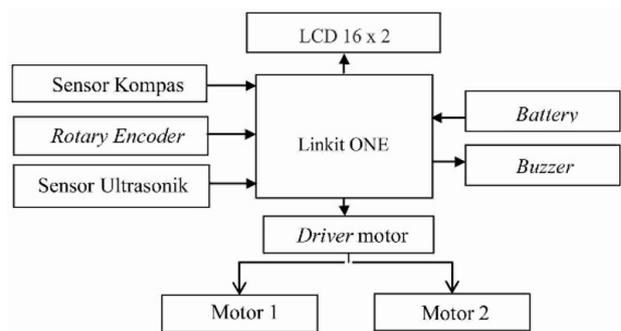
tergabung pada *Linkit ONE* sebagai penentu titik koordinat robot dan titik koordinat tujuan. Halangan yang digunakan disini berbentuk apapun dengan memenuhi spesifikasi berupa tinggi lebih dari 5 cm dan lebar lebih dari 3 cm. Adapun untuk lubang dengan spesifikasi lebar lebih dari 5 cm. Pada bagian proses, ada *Linkit ONE* sebagai mikrokontroler yang memberikan proses lanjutan dari data informasi masukan yang didapat. Kemudian pada bagian keluaran, ada *driver motor* yang memberikan kontrol kepada motor kanan dan motor kiri dan *buzzer* sebagai penanda bahwa robot sudah berada di posisi tujuan.

**C. Perancangan Sitem Kontrol**

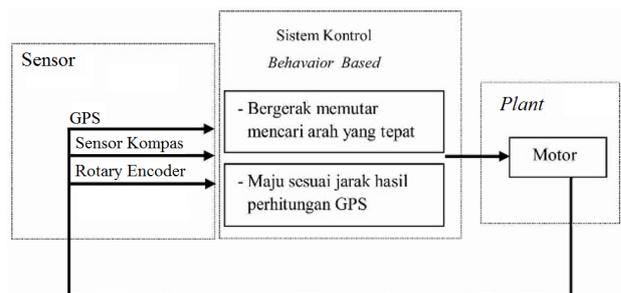
Perancangan sistem kontrol robot ini ditunjukkan pada Gambar 5. Robot akan diprogram untuk berperilaku sesuai dengan GPS sebagai *input* yang akan memberikan jalur secara *virtual* kepada robot. Kemudian robot akan mulai bergerak memutar mencari arah yang sesuai dengan jalur yang sudah diberikan. Hal ini dilakukan dengan menggunakan sensor kompas dalam menentukan arah gerak yang benar. Setelah arah sudah sesuai dengan jalur dan posisi tujuan, robot mulai bergerak yang dikontrol dengan sensor *rotary encoder* sehingga eror dari jalur yang ditempuh oleh robot bisa minimal.

**D. Perancangan Perangkat Lunak**

Gambar 6 menunjukkan diagram alir perangkat lunak sistem navigasi *waypoint*. Pertama-tama, mikrokontroler menginisialisasi *input* yang dimasukkan dalam set program. Setelah itu sensor membaca arah robot saat ini, koordinat robot saat ini, dan koordinat tujuan. Ketika tiga hal di atas sudah terbaca, mikrokontroler akan menghitung



Gambar 4. Blok diagram robot beroda



Gambar 5. Bagan sistem kontrol robot

selisih arah antara arah tujuan sampai arah awal dan jarak robot saat ini sampe ke koordinat tujuan. Apabila arah robot saat ini sudah sesuai dengan arah tujuan, robot akan berjalan ke depan. Namun, apabila robot saat ini tidak sesuai dengan arah tujuan, robot akan berputar sesuai hasil perhitungan selisih arah. Pada diagram alir yang terdapat pada Gambar 6 juga ada fungsi odometer. Odometer ini digunakan untuk membaca *bearing* target dan jarak target.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor Rotary Encoder

Pengujian sensor *rotary encoder* ini sangat penting pada robot pemandu karena sensor ini digunakan untuk mengetahui jarak yang sudah ditempuh oleh robot dengan memanfaatkan rumus fisika berikut ini:

$$V = \text{jarak} \times \text{waktu}, \tag{6}$$

Jarak tempuh tersebut bisa didapatkan dengan membaca banyak jumlah putaran roda dan keliling roda. Sedangkan keliling roda bisa diperoleh dari rumus matematika sederhana di bawah ini:

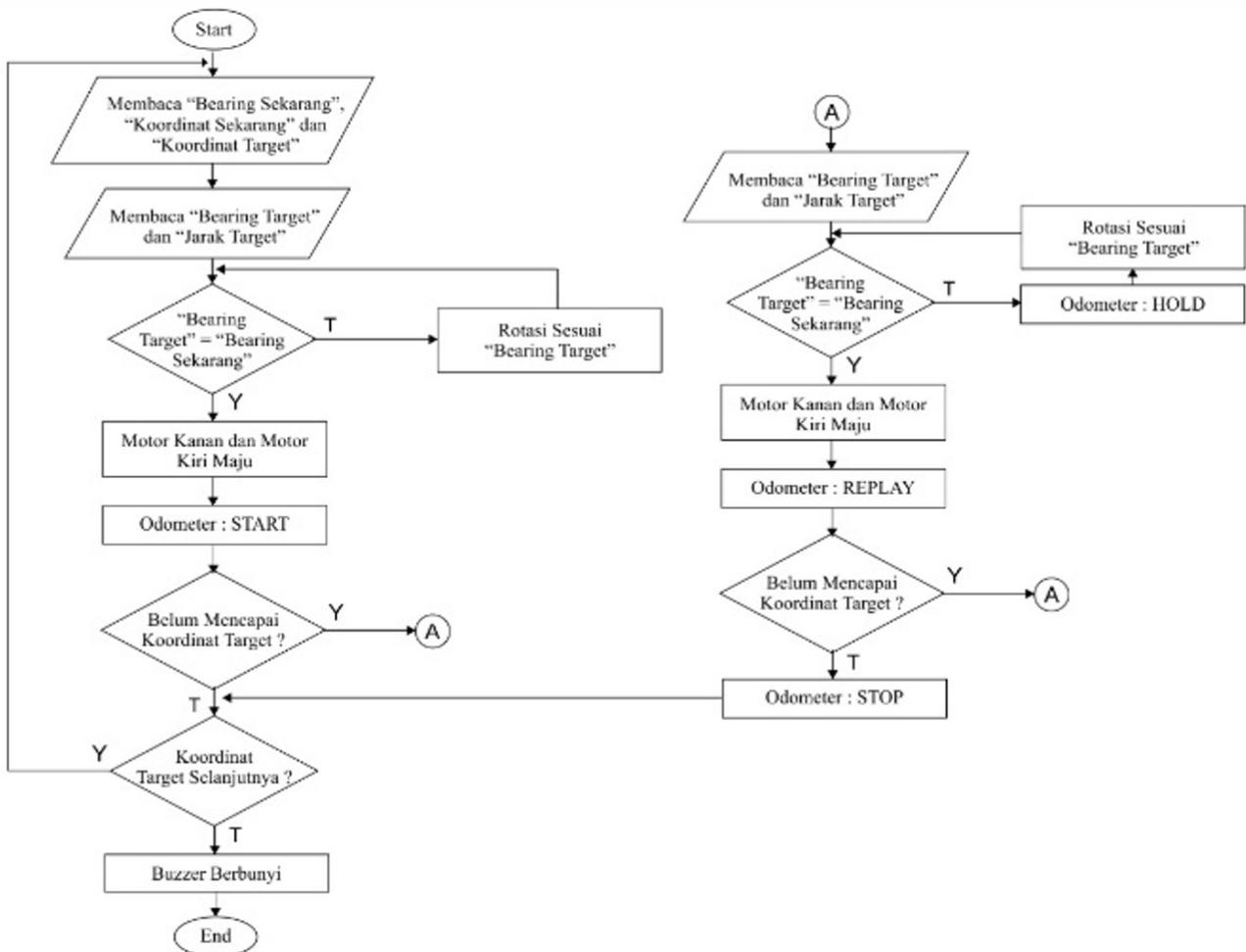
$$\text{Keliling Lingkaran} = 2 \times \pi \times r, \tag{7}$$

Setelah diketahui diameter roda, langkah selanjutnya adalah membaginya dengan jumlah lubang dalam *encoder* yaitu 20. Berdasarkan perhitungan ini, jarak yang ditempuh oleh robot dapat diketahui dalam setiap satu hitungan lubang sensor *rotary encoder*. Adapun untuk proses pengujian dilakukan dengan membandingkan jarak yang tertulis di program dengan jarak tempuh robot sebenarnya. Tabel 1 berikut ini adalah data pengujian sensor *rotary encoder* yang didapatkan.

Tabel 1 menunjukkan bahwa sensor *rotary encoder* ketika digunakan untuk mengukur jarak tempuh robot memiliki akurasi yang cukup baik. Hal ini terlihat dari nilai eror paling besar hanya 3 cm. Gambar 7 berikut ini adalah proses pengujian sensor *rotary encoder* pada robot.

B. Kalibrasi Sensor Kompas

Sensor kompas yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor HMC5883L. Sensor ini diujikan untuk mengetahui sejauh mana tingkat akurasinya. Proses kalibrasi dilakukan dengan mengambil nilai derajat yang didapatkan oleh sensor HMC5883L dan kemudian dibandingkan dengan nilai derajat yang terdapat di kompas bidik *lensatic orienteering naturehike*. Setiap sudut diambil satu kali percobaan.



Gambar 6. Diagram alir perangkat lunak sistem navigasi waypoint [12]

Tabel 2 menjelaskan bahwa sensor kompas HMC5388L memiliki akurasi yang cukup baik meskipun kurang konsisten. Hal demikian bisa dilihat dari nilai yang didapatkan oleh keseluruhan percobaan yang telah dilakukan dengan sensor kompas HMC5883L ini yaitu dengan melakukan total 20 kali percobaan didapatkan nilai eror rata-rata yang relatif kecil yaitu  $9,05^\circ$  namun terdapat eror yang relatif besar pada lima percobaan diantaranya yaitu lebih besar dari  $20^\circ$ . Ketika sensor kompas digunakan, ada hal yang perlu diperhatikan agar mendapatkan nilai akurasi sensor yang cukup bagus yaitu dengan menjauhkan sensor kompas dari medan magnet. Hal ini karena sensor kompas tersebut sangat sensitif terhadap medan magnet. Gambar 8 merupakan grafik kalibrasi sensor kompas dari total percobaan sebanyak 20 kali.

### C. Pengujian Sensor Kompas

Pengujian sensor kompas adalah bagian yang harus dilakukan karena komponen kompas ini yang akan menentukan ke arah mana robot akan menghadap dan berjalan menuju target. Dalam pembacaannya, sensor kompas memiliki nilai dari  $0^\circ$  sampai  $360^\circ$  dengan satuan derajat. Nilai  $0^\circ$  adalah arah mata angin utara,  $90^\circ$  adalah mata angin timur,  $180^\circ$  adalah mata angin selatan, dan  $270^\circ$  adalah mata angin barat. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan arah target dengan nilai tetap tertentu kemudian robot akan menggunakan sensor kompas untuk mencari arah ke mana arah target yang sudah ditentukan tersebut. Hal tersebut membuat robot memilih untuk berputar ke kanan sampai beberapa derajat atau berputar ke kiri sampai beberapa derajat.

Pada pengujian gerak rotasi robot dilakukan percobaan sebanyak 10 kali dengan lima kali di medan aspal dan

Tabel 1. Pengujian sensor rotary encoder

No.	Jarak Tempuh	Jarak Tempuh Robot	Eror
1	100 cm	101 cm	1 cm
2	200 cm	199 cm	1 cm
3	300 cm	302 cm	2 cm
4	400 cm	399 cm	1 cm
5	500 cm	498 cm	2 cm
6	600 cm	597 cm	3 cm



Gambar 7. Pengujian sensor rotary encoder untuk mengukur jarak tempuh

lima kali di medan keramik seperti pada Tabel 3. Dari dua medan yang berbeda pada *bearing*, hasilnya tidak ada perbedaan yang jauh karena sistem rotasi robot hanya mengacu pada selisih sudut target yaitu  $10^\circ$  dari  $180^\circ$ . Namun, waktu yang dibutuhkan gerak rotasi robot pada medan aspal dan keramik memiliki perbedaan lebih dari dua kali lipat karena gaya gesek aspal yang lebih besar dibandingkan keramik. Arah rotasi robot selalu mengambil pada sudut yang lebih kecil baik itu searah jarum jam (*CW=clockwise*) atau berlawanan arah jarum jam (*CCW=counter clockwise*).

Tabel 2. Kalibrasi sensor kompas HMC5883L

No.	Arah Sebenarnya (derajat)	Arah Terbaca (derajat)	Eror (derajat)
1	$0^\circ$	$2^\circ$	$2^\circ$
2	$25^\circ$	$27^\circ$	$2^\circ$
3	$45^\circ$	$50^\circ$	$5^\circ$
4	$70^\circ$	$76^\circ$	$6^\circ$
5	$90^\circ$	$100^\circ$	$10^\circ$
6	$135^\circ$	$136^\circ$	$1^\circ$
7	$150^\circ$	$149^\circ$	$1^\circ$
8	$165^\circ$	$163^\circ$	$2^\circ$
9	$180^\circ$	$169^\circ$	$11^\circ$
10	$195^\circ$	$189^\circ$	$6^\circ$
11	$210^\circ$	$190^\circ$	$20^\circ$
12	$225^\circ$	$195^\circ$	$30^\circ$
13	$245^\circ$	$221^\circ$	$24^\circ$
14	$255^\circ$	$233^\circ$	$22^\circ$
15	$270^\circ$	$246^\circ$	$23^\circ$
16	$280^\circ$	$273^\circ$	$7^\circ$
17	$295^\circ$	$291^\circ$	$4^\circ$
18	$315^\circ$	$316^\circ$	$1^\circ$
19	$325^\circ$	$328^\circ$	$3^\circ$
20	$345^\circ$	$346^\circ$	$1^\circ$

Tabel 3. Pengujian gerak rotasi robot

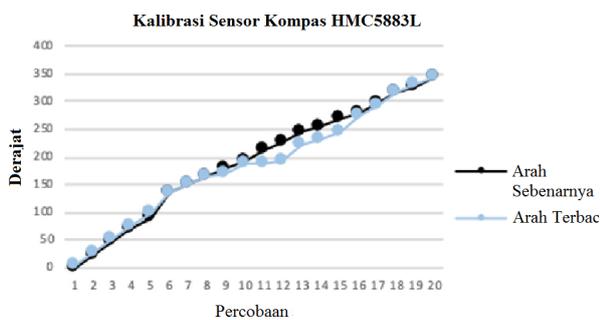
Medan	No.	Bearing Awal	Bearing Target	Terca-pai	Arah Putar	Waktu (detik)
Aspal	1	$345^\circ$	$180^\circ$	$189^\circ$	CCW	45
	2	$305^\circ$		$188^\circ$	CCW	38
	3	$267^\circ$		$189^\circ$	CCW	25
	4	$120^\circ$		$171^\circ$	CW	17
	5	$78^\circ$		$171^\circ$	CW	35
Keramik	1	$352^\circ$	$180^\circ$	$188^\circ$	CCW	25
	2	$302^\circ$		$187^\circ$	CCW	17
	3	$255^\circ$		$187^\circ$	CCW	9
	4	$124^\circ$		$171^\circ$	CW	7
	5	$68^\circ$		$172^\circ$	CW	16

D. Pengujian GPS Linkit ONE

Global Positioning System atau GPS merupakan sebuah sistem yang bisa menentukan lokasi dengan mencari titik koordinat bumi dengan nilai *latitude* (lintang) dan *longitude* (bujur) dengan beberapa jenis format diantaranya ; derajat, menit, dan detik (DMS) : 41°23'12.2''U 2°11'23.5''T derajat menit, dan desimal (DMM): 41 23.2048, 2 10.4418 derajat desimal (DD): 41.40268, 2.16803 [20]. Percobaan untuk pengambilan data kali ini menggunakan derajat desimal. Dalam proses pengujian GPS *Linkit ONE* ini, ada enam titik berbeda untuk pengambilan data *latitude* dan *longitude*. Data tersebut kemudian dibandingkan dengan data yang ada di *google maps*. Tahap selanjutnya adalah proses visualisasi untuk mempermudah dalam melihat perbandingan data keduanya sehingga terlihat pada Gambar 9.

Dari perbandingan data di atas, eror yang paling besar terletak pada titik paling atas yaitu titik ke enam dengan nilai eror lebih dari 4 meter, sedangkan eror pada empat titik lainnya tidak lebih dari 2 meter.

Ketika proses pengambilan data *latitude* dan *longitude* menggunakan GPS *Linkit ONE* seperti pada Gambar 10, ada hal yang perlu diperhatikan dalam menganalisa hasil yang didapatkan yaitu waktu yang dibutuhkan oleh robot dalam mendapatkan informasi lokasi dari satelit GPS. Robot membutuhkan waktu rata-rata 23 detik jika berada pada area terbuka dan membutuhkan waktu rata-rata 60 detik jika berada di area tertutup. Adapun untuk mendapatkan *latitude* dan *longitude* yang stabil, robot membutuhkan waktu rata-rata 7 detik jika berada pada area terbuka dan membutuhkan waktu rata-rata 19 detik jika berada di area tertutup.



Gambar 8. Grafik kalibrasi sensor kompas HMC5883L



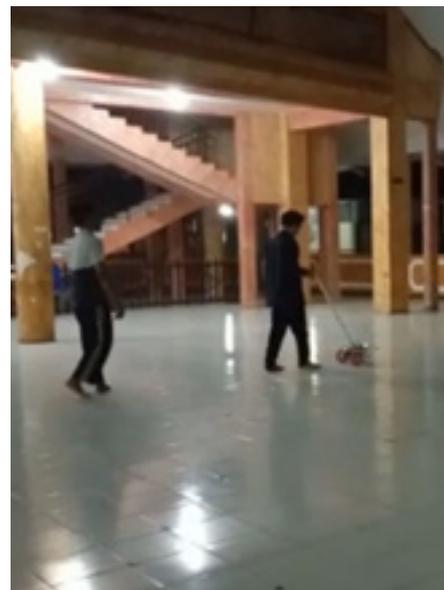
Gambar 9. Perbandingan data posisi GPS *Linkit ONE*

E. Pengujian Waypoint

Pengujian *waypoint* ini adalah pengujian keseluruhan dari sistem pada robot pemandu disabilitas netra dengan mengasumsikan bahwa robot ini sudah dipakai oleh seorang disabilitas netra untuk menuju ke suatu lokasi tujuan. Jadi, pengujian ini masih terbatas pada orang sehat dengan kondisi mata yang ditutup. Pengujian ini dilakukan di gedung KAUJE Universitas Jember kampus Tegalboto yang memiliki luas 1.215 m<sup>2</sup> dengan panjang 45 meter dan lebar 27 meter. Pada saat pengujian, robot berjalan dari titik satu ke titik kedua dan seterusnya sesuai dengan metode *waypoint*. Pada pengujian ini, ada dua kali skenario pengujian yaitu pengujian pertama tanpa halangan atau lubang dan pengujian kedua saat ada halangan atau lubang. Kedua pengujian tersebut sama-sama menggunakan *home* dan empat *point* (*latitude* dan *longitude* yang sama) dengan lima kali percobaan. Tabel 4 menunjukkan *waypoint* dan jarak yang telah ditempuh oleh robot selama lima kali percobaan, sedangkan Gambar 11 adalah proses pengujian *waypoint* di gedung KAUJE



Gambar 10. Pengambilan *latitude* dan *longitude* GPS *Linkit ONE*



Gambar 11. Pengujian *waypoint* di gedung KAUJE Universitas Jember

Universitas Jember. Titik – titik *waypoint* kita tentukan sesuai dengan skenario jalur yang diinginkan.

Pengujian pertama dimulai dengan robot berada pada *Home* dan membiarkan robot memandu ke *point* satu hingga *point* ke empat yang sudah ditentukan. Saat robot sudah berhenti sejenak untuk melanjutkan *bearing* menuju *point* selanjutnya maka teman penulis akan menandai tempat robot berhenti sebagai *point* yang terbaca oleh robot, begitu seterusnya hingga pada *point* terakhir. Setelah itu, teman penulis akan mengukur jarak lokasi *point* yang terbaca oleh robot dari lokasi *point* yang ditentukan serta mencatat data yang didapat dalam bentuk tabel.

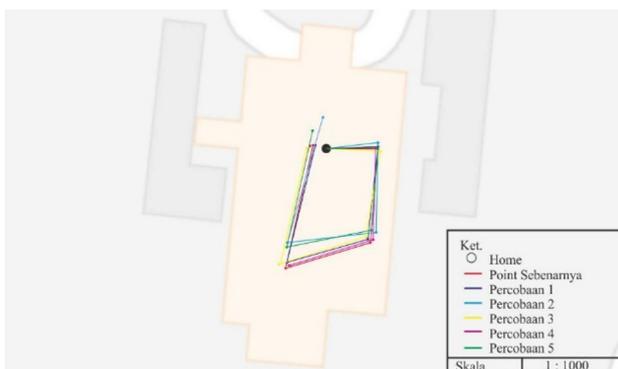
Dari data yang didapatkan dari pengujian *waypoint* saat tanpa ada halangan atau lubang sesuai dengan yang ada di Tabel 5 di atas bisa ketahu bahwa di semua percobaan pada *waypoint* 1 eror robot selalu lebih kecil dengan eror yang ada pada *waypoint* 2, *waypoint* 3 dan *waypoint* 4. Hal ini dikarenakan waktu robot dalam menghitung jarak dan *bearing* target pada *waypoint* 1 lebih lama dari pada saat robot menghitung jarak dan *bearing* target pada *waypoint* 2, *waypoint* 3 dan *waypoint* 4. Nilai eror terbesar pada

Tabel 4. *Waypoint* dan jarak tempuh robot

Keterangan	Latitude	Longitude	Bearing (derajat)	Jarak (meter)
Home	-8.165002	113.714293	-	0
waypoint 1	-8.165042	113.714393	102°	11,87
waypoint 2	-8.165172	113.714344	200°	15,43
waypoint 3	-8.165169	113.714206	271°	15,19
waypoint 4	-8.164998	113.714280	23°	20,69
Total jarak tempuh robot				63,18

Tabel 5. Eror lokasi robot di setiap *waypoint* saat tanpa ada halangan atau lubang

No.	Eror (radius meter)			
	<i>waypoint</i> 1	<i>waypoint</i> 2	<i>waypoint</i> 3	<i>waypoint</i> 4
1	0,4	0,8	1	0,6
2	1,1	1,7	3,6	4
3	0,7	1,2	1,3	1
4	0,3	0,6	0,5	0,5
5	0,2	1,7	3	2,4
Eror Rata-rata	0,54	1,2	1,9	1,7



Gambar 12. Pengujian *waypoint* saat tanpa halangan atau lubang

pengujian pertama ini juga bisa diketahui radius 4 meter yaitu percobaan ke-2 *waypoint* 4, sedangkan nilai eror terkecil adalah radius 0,2 meter yaitu pada percobaan ke-5 *waypoint* 1. Adapun nilai eror rata-rata ketika pengujian tanpa ada halangan atau lubang masih bernilai di bawah radius 2 meter. Gambar 12 menunjukkan proses pengujian *waypoint* tanpa halangan atau lubang

Kondisi yang berbeda yaitu saat pengujian *waypoint* dengan halangan atau lubang bisa dilihat pada tabel 6. Tabel di atas menunjukkan bahwa nilai eror pada *waypoint* 1 tidak selalu lebih kecil dari eror yang ada pada *waypoint* 2, *waypoint* 3 dan *waypoint* 4 seperti pada hasil pengujian pertama. Hal ini terlihat pada percobaan ke-1. Eror pada *waypoint* 2 lebih kecil dari eror pada *waypoint* 1. Hal ini disebabkan waktu robot dalam menghitung jarak dan *bearing* target pada *waypoint* 1 sama dengan saat robot menghitung jarak dan *bearing* target pada *waypoint* 2, *waypoint* 3 dan *waypoint* 4 karena ada perhitungan ulang saat robot menghindari halangan atau lubang. Nilai eror terbesar dari pada pengujian kedua seperti yang terlihat pada Tabel 6 adalah radius 4,4 meter yaitu pada percobaan ke-5 *waypoint* 4, sedangkan nilai eror terkecil adalah radius 0,5 meter yaitu pada percobaan ke-3 *waypoint* 1. Adapun nilai eror rata-rata ketika pengujian saat ada halangan atau lubang memiliki eror di atas radius 1,2 meter dan di bawah radius 3 meter. Gambar 13 adalah proses pengujian *waypoint* saat ada halangan atau lubang.

Dengan membandingkan hasil pengujian pertama dan kedua, ada beberapa hal yang didapatkan. Pertama, hasil dari *waypoint* tidak dipengaruhi dari hasil eror *waypoint* sebelumnya dalam artian ketika pada *waypoint* 1 eror sudah besar maka belum tentu pada *waypoint* 2 eror akan

Tabel 6. Eror lokasi robot di setiap *waypoint* saat ada halangan atau lubang

No.	Eror (radius meter)			
	<i>waypoint</i> 1	<i>waypoint</i> 2	<i>waypoint</i> 3	<i>waypoint</i> 4
1	1,7	1,3	2	1,2
2	1,1	2,7	4	2,7
3	0,5	2	2,9	1,3
4	1,2	1,7	1,5	2,6
5	1,8	3,2	2,2	4,4
Eror Rata-rata	1,26	2,18	2,52	2,44



Gambar 13. Pengujian *waypoint* saat ada halangan atau lubang

besar juga. Kedua, eror rata-rata pada pengujian saat ada halangan atau lubang lebih besar daripada eror rata-rata pada pengujian saat tidak ada halangan atau lubang. Hal demikian dikarenakan saat robot menghindari halangan atau lubang, proses *bearing* akan dilakukan ulang serta akurasi perhitungan yang dilakukan oleh odometer berkurang atau terganggu. Adapun kecepatan robot berjalan pada penelitian ini adalah 5 meter/7 detik.

Metode *waypoint* yang digunakan sebagai navigasi robot pemandu disabilitas netra memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian *guide robot* yang ada sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya masih menggunakan sistem navigasi yang manual. Seperti pada tongkat pandu Iwan Ulrich yang menggunakan sensor ultrasonik dan servo yang bisa membelokkan tongkat ketika di depan ada sebuah halangan serta ada penggunaan *mini joystick* untuk mengontrol sudut dengan manual dan berjalan dengan roda pasif. Sehingga dalam hal navigasi, robot beroda pemandu disabilitas netra dalam penelitian ini memiliki banyak keunggulan dibanding dengan penelitian sebelumnya. Robot ini bisa melakukan sebuah navigasi secara otomatis untuk memandu disabilitas netra menuju ke lokasi tujuan dengan akurasi radius 3 meter.

## V. KESIMPULAN

Robot beroda pemandu disabilitas netra dengan metode *waypoint* ini memiliki akurasi yang cukup baik di mana saat melakukan navigasi dengan empat *waypoint* yang berbelok-belok, robot pemandu ini memiliki nilai eror rata-rata di bawah radius 2 meter jika tidak ada halangan atau lubang dan nilai eror rata-rata di bawah radius 3 meter jika ada halangan atau lubang. Hal tersebut bisa dilihat dari Tabel 5. dan Tabel 6. Pada nilai eror rata-rata setiap *waypoint* pada lima percobaan. Untuk penelitian selanjutnya, robot beroda pemandu disabilitas netra ini bisa ditambahkan *output* suara untuk mempermudah pengguna dalam memahami kondisi yang ada di jalan.

## REFERENSI

- [1] A. R. Chaidir, W. Muldayani, and G. D. Kalandro, "Pengenalan gestur jari menggunakan pengolahan citra untuk mengendalikan joint pada base robot lengan," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 14, no.3, hal. 174-180, 2018.
- [2] E. Apriaskar, F. Fahmizal, I. Cahyani, and A. Mayub, "Autonomous mobile robot based on Behaviour based robotic using V-REP simulator-Pioneer P3-DX robot," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 16, no. 1, hal. 15-22, April 2020.
- [3] N. S. Naik, V. V. Shete, and S. R. Danve, "Precision agriculture robot for seeding function," in Proceedings of the International Conference on Inventive Computation Technologies, ICICT 2016, 2016.
- [4] Z. Fan, Q. Qiu, and Z. Meng, "Implementation of a four-wheel drive agricultural mobile robot for crop/soil information collection on the open field," in Proceedings - 2017 32nd Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation, YAC 2017, 2017.
- [5] Q. Feng, X. Wang, G. Wang, and Z. Li, "Design and test of tomatoes harvesting robot," in 2015 IEEE International Conference on Information and Automation, ICIA 2015 – In conjunction with 2015 IEEE International Conference on Automation and Logistics, 2015.
- [6] D. Waleed et al., "An in-pipe leak detection robot with a neural-network-based leak verification system," *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 3, pp. 1153 – 1165, 2019.
- [7] G. Du, M. Chen, C. Liu, B. Zhang, and P. Zhang, "Online robot teaching with natural human-robot interaction," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 12, pp. 9571 – 9581, 2018.
- [8] K. Anam, A. A. Rosyadi, and B. Sujanarko, "The design of a low-cost therapy robot for hand rehabilitation of a postStroke patient," 2018 International Conference on Computer Engineering, Network and Intelligent Multimedia, CENIM 2018 Proceeding, pp. 77–80, 2018.
- [9] C. Ye and X. Qian, "3-D object recognition of a robotic navigation aid for the visually impaired," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 26, no. 2, pp. 441 – 450, 2018.
- [10] I. Ulrich and J. Borenstein, "The GuideCane-applying mobile robot technologies to assist the visually impaired," *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics-Part A Systems and Humans.*, vol. 31, no. 2, pp. 131–136, 2001.
- [11] V. Kulyukin, C. Gharpure, and N. De Graw, "Human-robot interaction in a robotic guide for the visually impaired," AAAI Spring Symposium - Technical Report, vol. 3, 2004, pp. 1–6.
- [12] A. S. Taufik, "Sistem navigasi waypoint pada autonomous mobile robot," *Jurnal Mahasiswa TEUB*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2013.
- [13] D. R. Bruno, M. H. De Assis, and F. S. Osorio, "Development of a mobile robot: Robotic guide dog for aid of visual disabilities in urban environments," in Proceedings - 2019 Latin American Robotics Symposium, 2019 Brazilian Symposium on Robotics and 2019 Workshop on Robotics in Education, LARS/SBR/WRE 2019, 2019.
- [14] D. R. H.Z. Abidin, *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya, Cetakan II*. Jakarta: pradnya paramita, 2000.
- [15] A. Amanatiadis, "A multisensor indoor localization system for biped robots operating in Industrial environments," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 12, pp. 7597 – 7606, 2016.
- [16] Y. Kim, J. An, and J. Lee, "Robust navigational system for a transporter using GPS/INS fusion," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 4, pp. 3346 – 3354, 2018.
- [17] L. Altay, S. Eryiğit, and F. Alagöz, "GPS-SEC," in Proceedings of the 2016 13th Workshop on Positioning, Navigation and Communication, WPNC 2016, 2017.
- [18] I. Maritho, "Sistem navigasi helikopter berdasarkan data posisi secara telemetri," 2008.
- [19] A. Upadhyay, "Formula to find bearing or heading angel between two points: latitude and longitude," IGISMAT, 2015.
- [20] R. M. Awangga, *Pengantar Sistem Informasi Geografis, Cetakan pertama*. Bandung: Kreatif Industri Nusantara, 2019.