

**IMPLEMENTASI SISTEM PELACAKAN MARKA JALAN  
MENGUNAKAN JARINGAN OPTIK NIRKABEL UNTUK PURWARUPA  
KENDARAAN OTONOM**

***IMPLEMENTATION OF STREET MARKING TRACKING USING WIRELESS  
OPTICAL LINKS FOR AUTONOMOUS VEHICLE PROTOTYPE***

**Sagahalled Ramadhan<sup>1</sup>, Yusuf Nur Wijayanto<sup>2</sup>, Cahyantari Ekaputri<sup>3</sup>**

1, 2, 3 Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

<sup>1</sup>sagahalledramadhan@student.telkomuniversity.ac.id,

<sup>2</sup>ynwijayanto@gmail.com, <sup>3</sup>cahyantarie@telkomuniversity.ac.id

---

**Abstrak**

Manusia tidak bisa lepas dari transportasi, terutama transportasi darat. Sekitar 47 jam per tahun dihabiskan di jalanan Indonesia karena kemacetan, oleh karena itu perlu adanya sistem yang dapat mengatur transportasi agar dapat berjalan secara otonom sehingga kemacetan, kecelakaan dan polusi dapat dikurangi dengan signifikan. Perlu adanya purwarupa terlebih dahulu sebelum melakukan realisasi, oleh karena itu dibuatlah sistem pelacakan marka jalan untuk purwarupa kendaraan otonom dengan basis sensor LiDAR yang merupakan jaringan optik nirkabel. Sensor LiDAR berfungsi seperti ekolokasi pada hewan, perbedaannya hanya pada ekolokasi digunakan gelombang suara, sedangkan LiDAR menggunakan gelombang cahaya, dengan itu kendaraan dapat bergerak secara otonom.

Sistem pelacakan marka jalan yang dirancang menggunakan *Arduino Mega* dengan pemrograman C. Purwarupa yang digunakan sebagai basis nya adalah mobil *Remote Control (RC)* dengan skala 1/10. Sistem dapat berada diantara kedua marka kanan dan kiri jalan dengan toleransi yang sudah ditentukan dengan metode *Fuzzy Logic Sugeno*.

Sistem yang dirancang dapat menyusuri dan berada di tengah – tengah marka dengan akurasi sebesar 87,5 %. Sistem pelacakan marka jalan salah satu solusi untuk mengurangi kemacetan dan kecelakaan.

**Kata Kunci:** LiDAR, kendaraan otonom, *Fuzzy Logic Sugeno*.

---

**Abstract**

Humans cannot escape from transportation, especially land transportation. Approximately 47 hours per year are spent on Indonesian roads due to congestion, therefore it is necessary to have a system that can regulate transportation so that it can run autonomously so that congestion, accidents and pollution can be significantly reduced. It is necessary to have a prototype before making the realization, therefore a road marking tracking system was created for

autonomous vehicle prototypes based on the LiDAR sensor which is a wireless optical network. LiDAR sensors function like echolocation in animals, the only difference is that sound waves use echolocation, while LiDAR uses light waves, with it the vehicle can move autonomously.

The road marking tracking system designed using Arduino Mega with C programming. The prototype used as the base is a Remote Control (RC) car with a scale of 1/10. The system can be between the two markers on the right and left of the road with the tolerance that has been determined by the Fuzzy Logic Sugeno method.

The system designed to trace and be in the middle of the markings with an accuracy of 87.5%. Road markings tracking system is a solution to reduce congestion and accidents.

**Keywords: LiDAR, autonomous vehicle, Fuzzy Logic Sugeno.**

## 1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi terutama di bidang industri semakin pesat. Terbukti dari banyaknya pabrik yang sudah menggunakan robot sehingga lebih praktis dan cepat karena bersifat autonomous. Pada era modernisasi seperti ini, sesuatu yang otomatis sangatlah digemari, karena lebih efisien baik di waktu maupun tenaga.

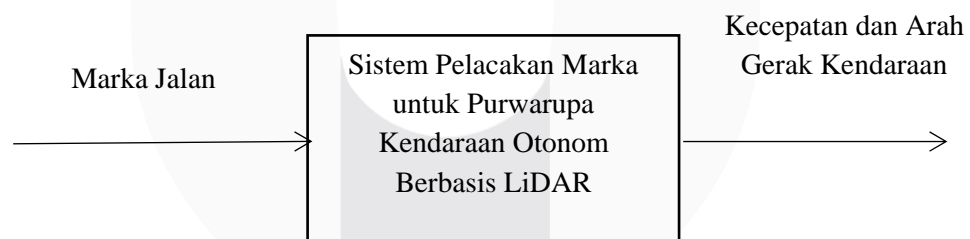
Setiap kendaraan baik umum maupun pribadi memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, kelebihan kendaraan umum adalah efisiensi tenaga karena kita hanya sebagai penumpang, namun kekurangannya adalah kendaraan umum tidak sampai tepat di tujuan kita, jikalau sampai pun harus mengeluarkan uang lebih sedangkan kendaraan pribadi adalah kebalikannya. Penggunaan sistem otonom pada kendaraan pribadi akan sangat efisien. Dengan demikian kita dapat sampai tepat di tujuan tanpa harus mengemudi. Selain itu kendaraan otonom dapat mengurangi risiko kecelakaan karena sistemnya yang berjalan terus, jika dibandingkan manusia yang terkadang bisa mengantuk, kurang konsentrasi karena kelelahan.

Jaringan Optik Nirkabel adalah bentuk komunikasi optik dimana sinar tampak, inframerah (IR), atau ultraviolet terarah digunakan untuk membawa sinyal. LiDAR (*Light Distance and Ranging*) adalah salah satu sensor komunikasi nirkabel optik yang dapat mengukur jarak dengan cara menembakkan laser dan menerimanya kembali lalu mengubahnya kedalam satuan jarak [2]. Fungsi dari sensor LiDAR dalam kendaraan adalah untuk memastikan pengendalian otomatis yang andal dan aman dari berbagai

rintangan, seperti tabrakan, pemantauan *blind spot*, objek dan pejalan kaki [6]. Dibantu dengan perkembangan teknologi INS (*Inertial Navigation System*) yang akurat ( $0.008^\circ$ ) membuat LiDAR memiliki akurasi yang memadai untuk digunakan di bidang pemetaan [3]. Menerapkan kendaraan cerdas akan menghemat uang, meningkatkan keamanan dalam berkendara, meningkatkan kualitas hidup, dan mempermudah orang untuk berpindah dari suatu tempat ke tempat lainnya [1]. Untuk mewujudkannya perlu adanya sistem yang dapat mengendalikan kendaraan secara otonom, kemampuan teknik optik LiDAR dalam memberikan pengukuran tanpa pengawasan dengan resolusi waktu dalam menit menjadikannya alat yang berharga untuk studi dalam kemacetan perkotaan terutama kendaraan otonom [7]. Dengan menggunakan LiDAR sebagai masukan, mikrokontroler sebagai pengendalinya, motor DC, motor driver dan motor servo sebagai keluarannya, kendaraan dapat bergerak secara otonom tanpa dikendalikan manusia. Sistem pelacakan marka jalan menggunakan LiDAR ini merupakan dasar dari topik tugas akhir sistem pendeteksian rintangan dalam purwarupa kendaraan otonom.

## 2. Teori

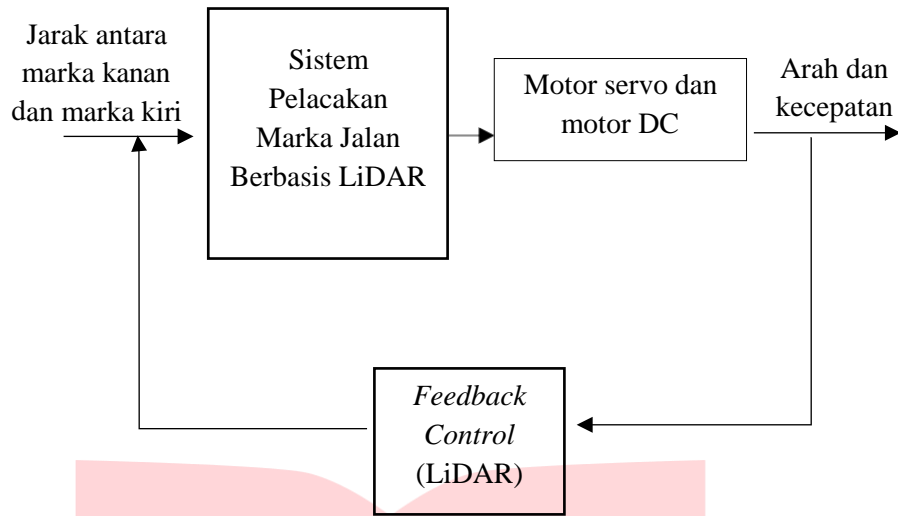
Konsep solusi yang akan dirancang yaitu berupa pergerakan kendaraan secara otonom yang didapat dari LiDAR yang sebelumnya sudah di proses di Arduino. Ketika sistem mendeteksi adanya marka jalan melalui LiDAR, maka kendaraan akan bergerak mengikuti arah dari marka tersebut.



Gambar 1 Diagram Fungsi Sistem

### 2.1 Steering Control

Pengaturan manuver atau *steering control* dikendalikan oleh sistem dengan aktuator berupa motor servo yang memiliki masukan dari sensor LiDAR. Kecepatan motor DC selalu konstan hingga posisi yang sebelumnya ditentukan tercapai atau ada perintah baru dari sistem. Posisi dari servo motor ditentukan oleh sistem yang sebelumnya sudah dimasukan jarak antara kedua marka kanan dan kiri.

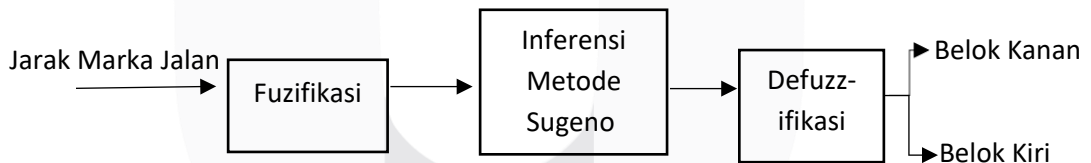


Gambar 2 Diagram Kerja Steering Control

### 2.2 Prinsip Kerja Sensor LiDAR

LiDAR banyak kemiripan seperti radar. LiDAR sendiri adalah akronim dari *light detection and ranging*. Jika radar menggunakan gelombang radio untuk mengukur benda yang sebelumnya dipantulkan, LiDAR menggunakan gelombang cahaya [7]. LiDAR mengukur jarak dengan menembakkan cahaya yang berupa ultraviolet atau inframerah ke target yang nantinya dipantulkan kembali dan diukur selisih waktunya untuk menentukan jarak [2].

### 2.3 Metode Fuzzy Logic



Gambar 3 Diagram Fungsi Sistem Berbasis Logika Fuzzy

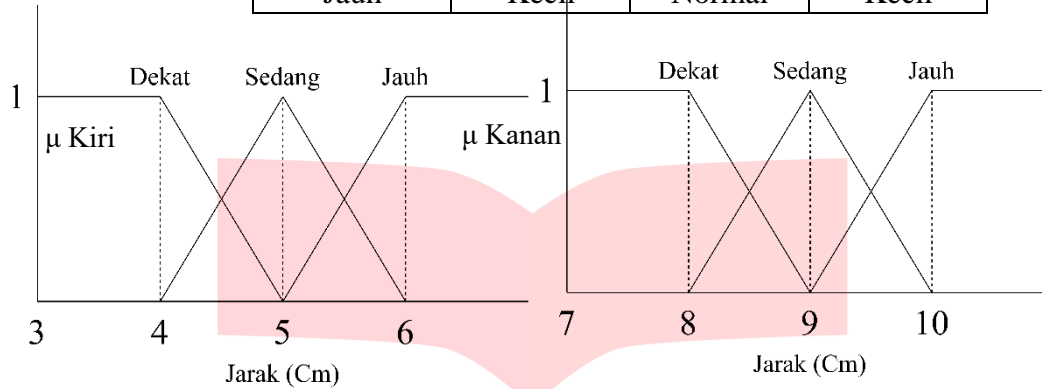
Masukan kendali logika fuzzy adalah jarak antara kedua marka jalan yang didapat dari sensor. Masukan tersebut di inferensi dengan metode Sugeno setelah terlebih dahulu dilakukan Fuzifikasi. Keluaran bagian inferensi adalah nilai yang bersifat fuzzy, sehingga perlu dilakukan Defuzzifikasi. Nilai keluaran selanjutnya digunakan untuk pengambilan keputusan apakah sistem akan berbelok ke kanan, kiri.

Basis aturan yang digunakan pada sistem dijadikan logika dasar agar sistem dapat menentukan pilihan yang tepat dengan toleransi sebesar 15%. Basis aturan tersebut menjadi acuan sistem dalam menentukan kecepatan dan bermanuver. Metode *Fuzzy Logic Sugeno* digunakan untuk mengontrol pergerakan motor servo agar

purwarupa dapat bermanuver dengan mulus. Berikut adalah basis aturan yang digunakan sistem agar dapat menentukan pilihan bermanuver,

Tabel 1 Basis Aturan Posisi Kiri

Kiri / Kanan	Dekat	Sedang	Jauh
Dekat	Kecil	Normal	Besar
Sedang	Kecil	Normal	Normal
Jauh	Kecil	Normal	Kecil

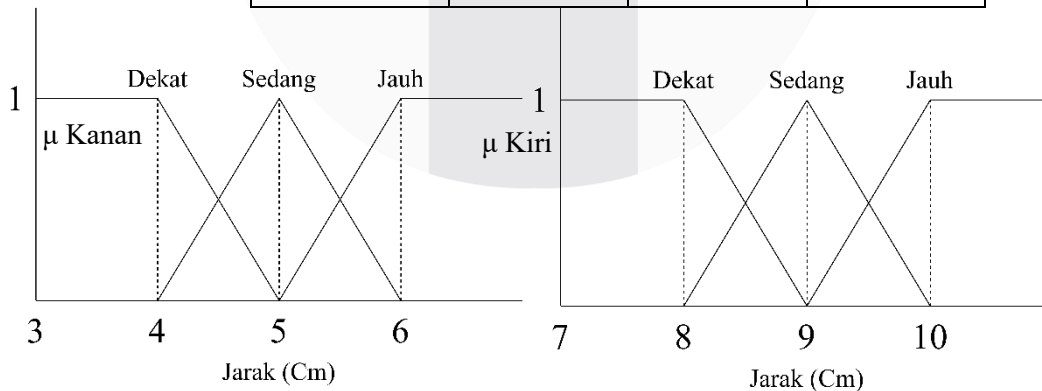


Gambar 4 Fungsi Keanggotaan Saat Posisi Kiri

Gambar dan tabel diatas merupakan aturan saat posisi purwarupa terlalu ke kiri jalan,  $\mu$  Kiri adalah LiDAR yang diletakkan disebelah kiri purwarupa, sedangkan  $\mu$  Kanan adalah sebaliknya. Dikarenakan pada servo memiliki titik  $0^\circ$  pada  $90^\circ$  maka pada basis aturan belok kanan, kecil berarti servo bergerak menuju  $100^\circ$ , normal  $115^\circ$  dan besar  $130^\circ$  untuk aturan saat berbelok ke kiri dapat dilihat di tabel bawah.

Tabel 2 Basis Aturan Posisi Kanan

Kiri / Kanan	Dekat	Sedang	Jauh
Dekat	Kecil	Normal	Kecil
Sedang	Sedang	Normal	Kecil
Jauh	Besar	Normal	Kecil



Gambar 5 Fungsi Keanggotaan Saat Posisi Kanan

Pada basis aturan posisi kanan, kecil berarti servo bergerak menuju  $75^0$  normal  $60^0$  dan besar  $45^0$ . Basis data diatas merupakan acuan yang digunakan oleh sistem untuk menentukan manuver, sedangkan untuk basis aturan kecepatan dapat dilihat di tabel dibawah.

### 3. Hasil Percobaan dan Analisis

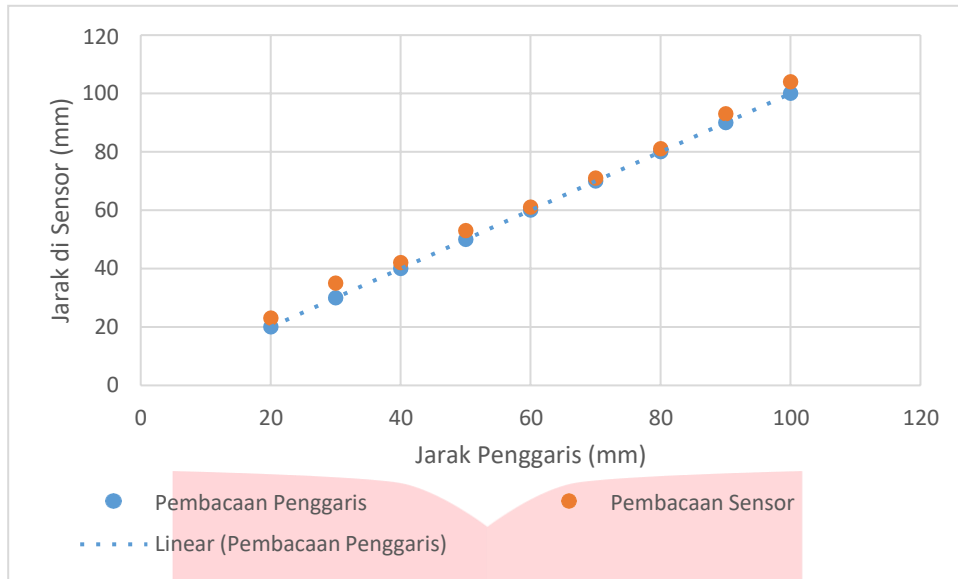
Percobaan dan analisis dibagi menjadi beberapa bagian, beberapa percobaan tersebut adalah sebagai berikut,

#### 3.1 Pengujian Sensor LiDAR

Sensor LiDAR yang digunakan adalah VL53L0X yaitu sensor LiDAR satu arah. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur benda yang sudah di atur jarak nya sedemikian rupa dari 20 mm hingga 100 mm. Pengujian dilakukan dari 20 mm karena sensor VL53L0X memiliki batas minimal pembacaan pada 15-18 mm. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai rata – rata akurasi dari sensor yang digunakan. Nilai akurasi didapatkan dengan menemukan nilai error dari persamaan (4.1) dan (4.2).

$$Error = \frac{|Pembacaan\ di\ Penggaris - Pembacaan\ di\ Sensor|}{Pembacaan\ di\ Penggaris} \times 100\% \quad (1)$$

$$Akurasi = 100\% - Error \quad (2)$$



Gambar 6 Grafik Pengujian LiDAR 1



Gambar 7 Grafik Pengujian LiDAR 2

Hasil dari pengujian diatas, didapatkan sensor – 1 memiliki akurasi rata – rata sebesar 93,983 %, sedangkan sensor – 2 memiliki akurasi rata – rata sebesar 92,21%.

### 3.2 Pengujian Kecepatan Motor DC

Kecepatan motor DC dapat dikendalikan melalui *pulse width modulation* (PWM), pengujian ini dilakukan dengan menghitung waktu yang ditempuh oleh purwarupa dengan jarak yang sudah ditentukan, dengan begitu kecepatan dapat diperoleh dengan persamaan (4.3),

$$v = \frac{S}{t} \tag{3}$$

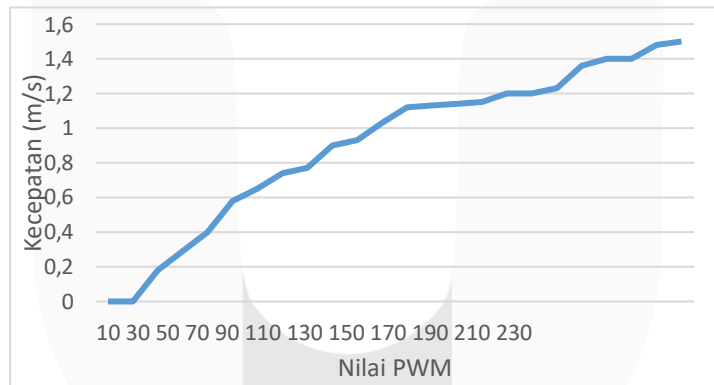
Keterangan:

v: Kecepatan (m/s)

S: Jarak (m)

t: Waktu (s)

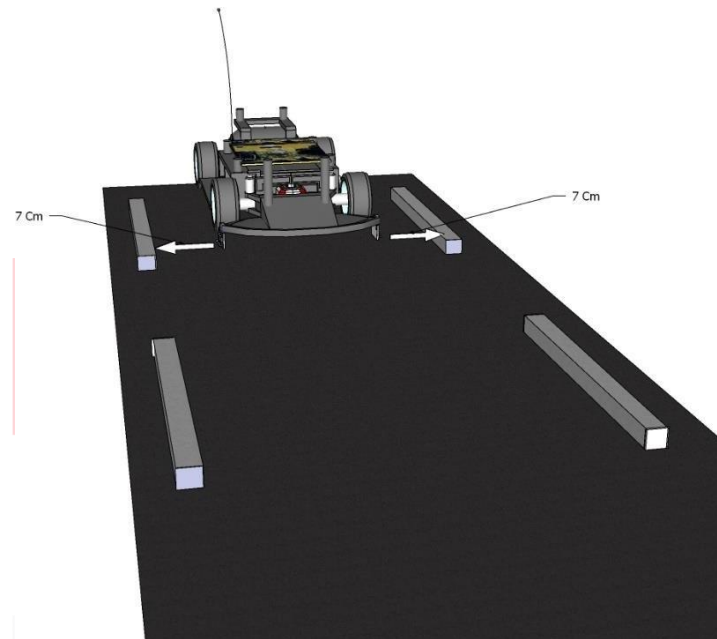
Pengujian dilakukan pada lintasan lurus sepanjang 1.5 m, motor DC diberikan nilai PWM dari 0 hingga 240 secara manual kemudian dihitung waktu tempuhnya satu per satu. Dari data yang diperoleh dapat ditentukan kecepatannya menggunakan rumus (4.3). Untuk hasil pengujian dapat dilihat pada gambar dibawah. Dari gambar dibawah dapat ditarik kesimpulan bahwa motor DC baru dapat berfungsi saat diberikan nilai PWM sebesar 30.



Gambar 8 Grafik Pengujian Motor DC

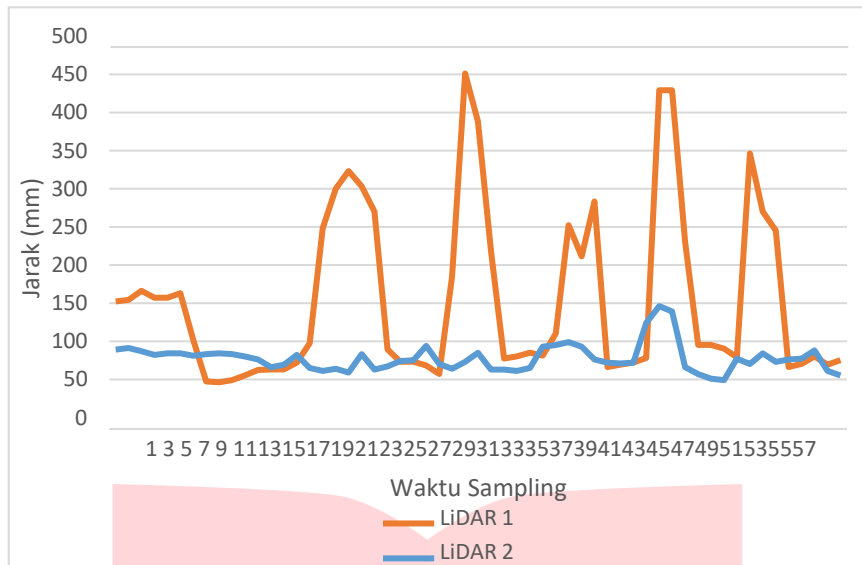


### 3.3 Lintasan Lurus

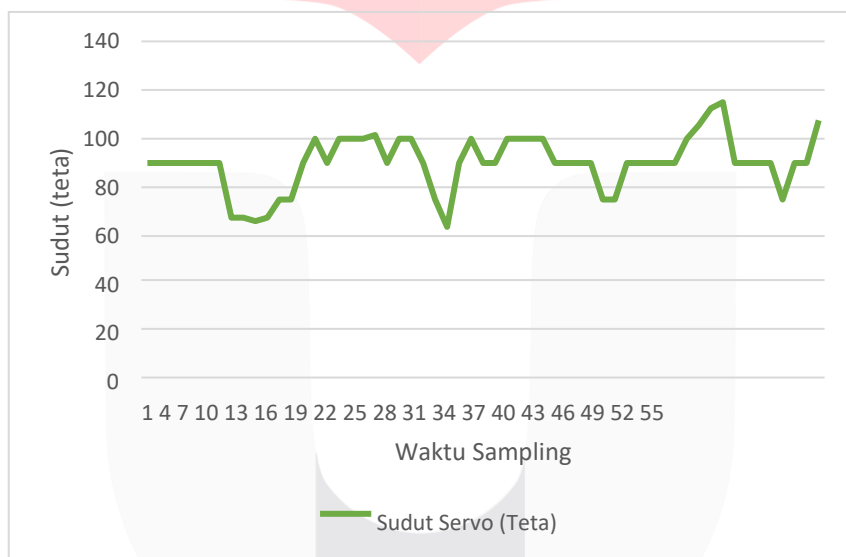


Gambar 9 Pengujian Lintasan Lurus

Pengujian dilakukan pada lintasan lurus sepanjang 1,5 m dengan jarak antara marka putus – putus sejauh 10 cm dan nilai PWM sebesar 32 untuk lurus dan 50 saat purwarupa melakukan manuver. Dari pengujian tabel diatas didapat grafik respon *input* LiDAR dengan *output* sudut servo yang sebelumnya telah melewati metode *Fuzzy Sugeno*, dapat dilihat dari Gambar 4.6 bahwa grafik sudut servo selalu menuju  $90^{\circ}$ , itu membuktikan bahwa purwarupa selalu bergerak menuju ke tengah – tengah marka.

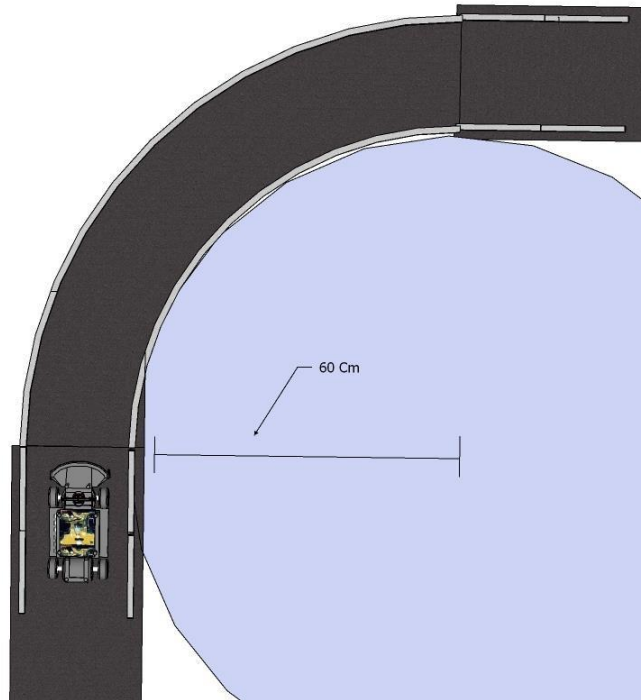


Gambar 10 Grafik LiDAR pada Lintasan Lurus

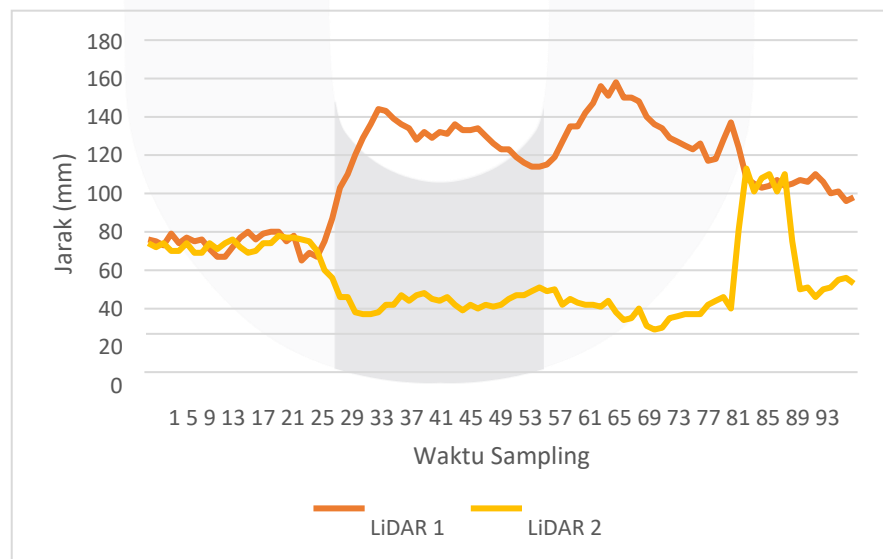


Gambar 11 Grafik Sudut Servo pada Lintasan Lurus

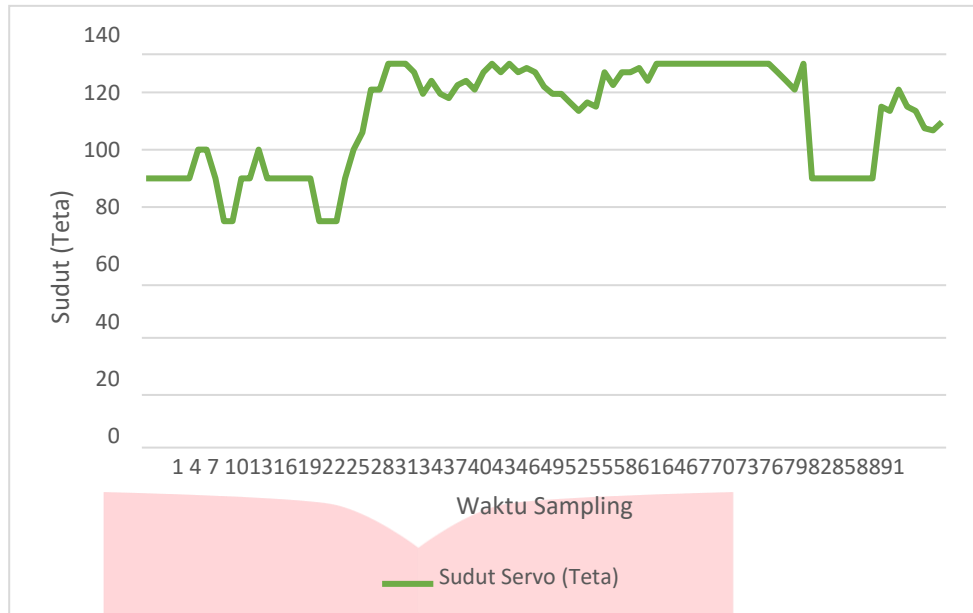
### 3.4 Lintasan Manuver Kanan



Gambar 12 Pengujian pada Lintasan Seperempat Lingkaran Kanan  
Pengujian dilakukan pada lintasan belok kanan dengan jari - jari lingkaran 60 cm dan lebar yang sama dengan lintasan lurus. Berikut merupakan hasil pengujian pada lintasan belok kanan,



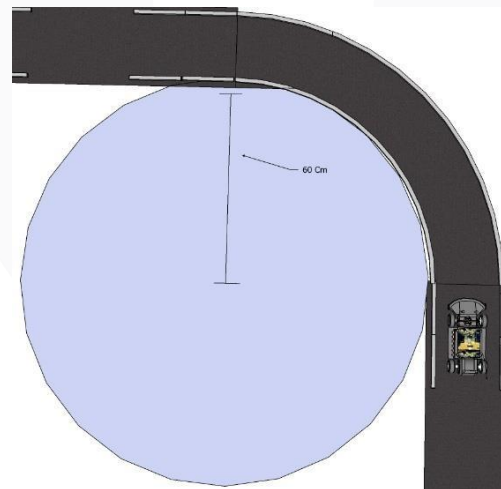
Gambar 13 Grafik LiDAR pada Lintasan Kanan



Gambar 14 Grafik Sudut Servo terhadap Lintasan Kanan

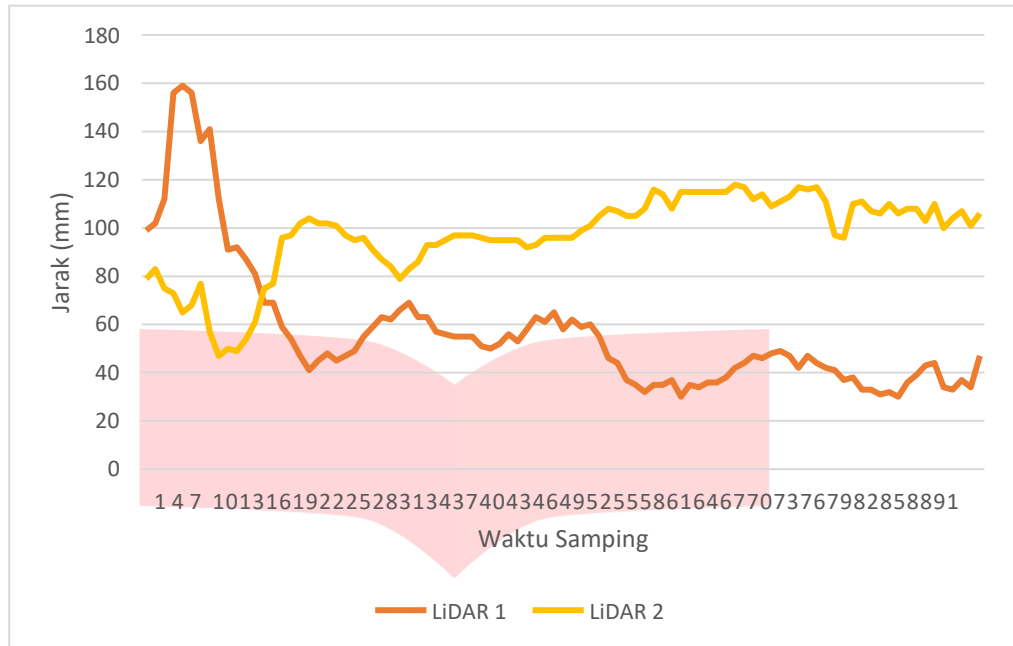
Pengujian dilakukan pada lintasan seperempat lingkaran dengan jari – jari 60 cm dan marka tersambung dan dengan nilai PWM 50. Dari pengujian diatas didapat grafik respon *input* LiDAR dengan *output* sudut servo yang sebelumnya telah melewati metode *Fuzzy Sugeno*. Sudut yang dihasilkan saat melewati lintasan kanan cenderung diatas 90<sup>0</sup> , hal ini membuktikan bahwa Tabel 3.1 dan Gambar 3.6 tentang metode *Fuzzy Sugeno* berfungsi dan mempengaruhi *output*.

### 3.5 Lintasan Manuver Kiri

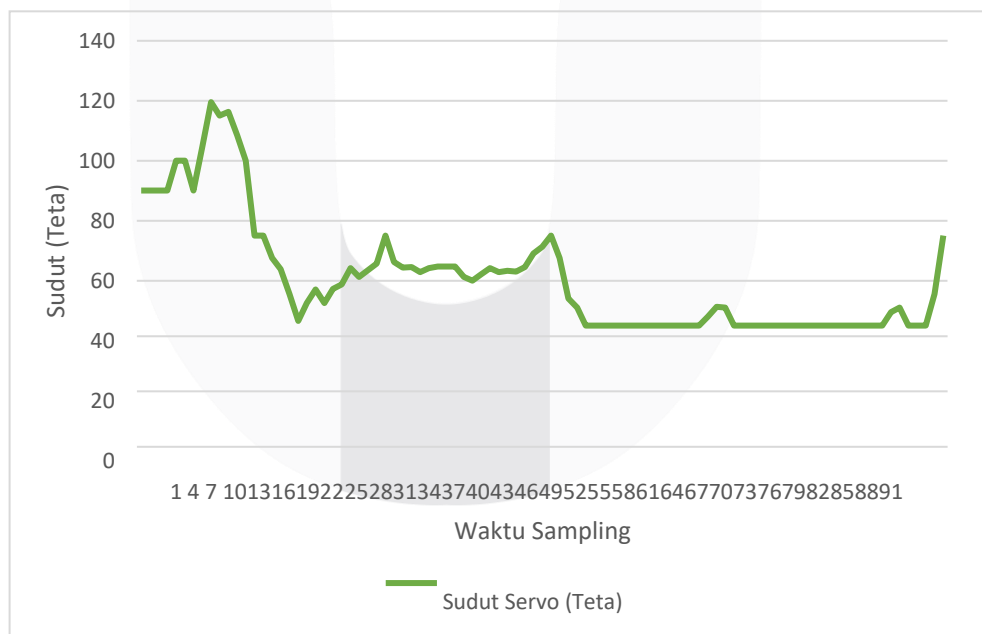


Gambar 15 Pengujian pada Lintasan Berbelok Kiri

Pengujian dilakukan pada lintasan belok kiri dengan jari - jari lingkaran 60 cm dan lebar yang sama dengan lintasan lurus. Berikut merupakan hasil pengujian pada lintasan belok kiri,



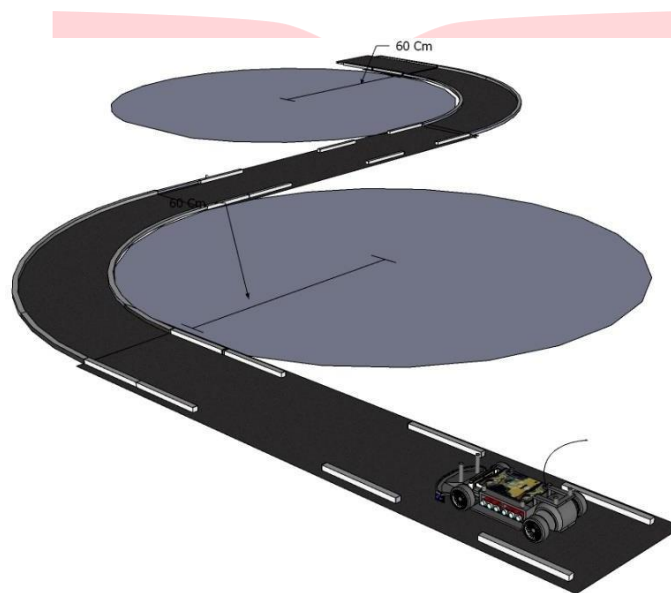
Gambar 16 Grafik LiDAR terhadap Lintasan Kiri



Gambar 17 Grafik Sudut Servo terhadap Lintasan Kiri

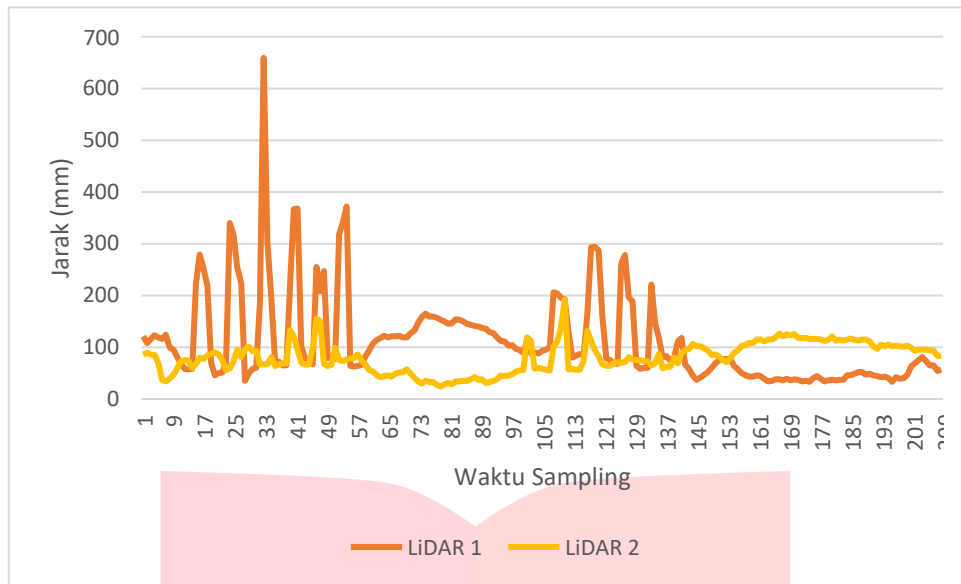
Pengujian dilakukan pada lintasan seperempat lingkaran dengan jari – jari 60 cm dan marka tersambung dengan nilai PWM sebesar 50. Dari pengujian diatas didapat grafik respon *input* LiDAR dengan *output* sudut servo yang sebelumnya telah melewati metode *Fuzzy Sugeno*. Dari gambar diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa servo rata – rata bergerak dibawah  $90^\circ$ , hal ini membuktikan bahwa Tabel 3.2 dan Gambar 3.7 berfungsi dan mempengaruhi *output*.

### 3.6 Lintasan Campuran

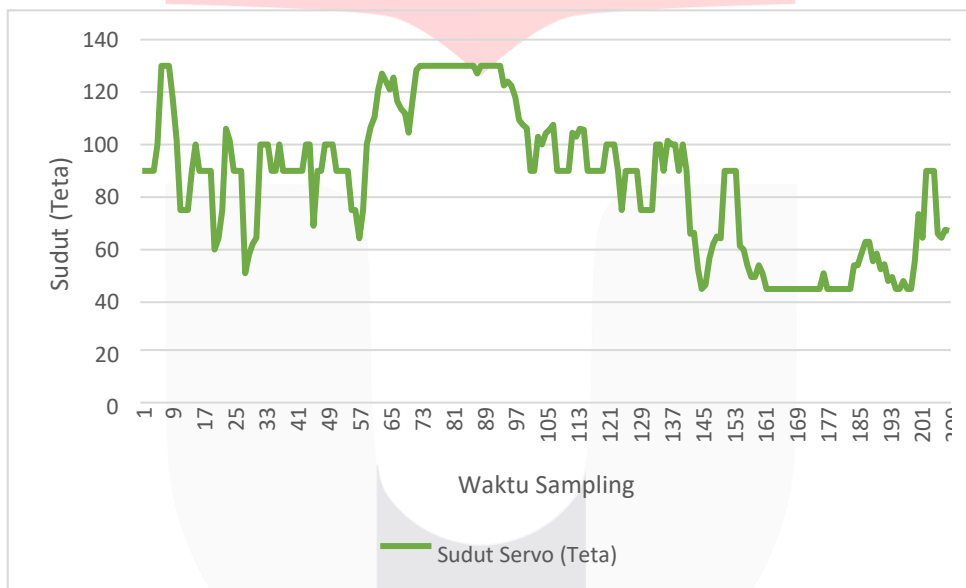


Gambar 18 Pengujian pada Lintasan Campuran

Pengujian dilakukan pada lintasan campuran dengan jari - jari lingkaran saat belok sebesar 60 cm dan lebar antara marka sama dengan lintasan lurus. Panjang masing – masing lintasan lurus adalah 1,5 m. Berikut merupakan hasil pengujian pada lintasan campuran,



Gambar 19 Grafik LiDAR terhadap Lintasan Campuran



Gambar 20 Grafik Sudut Servo terhadap Lintasan Campuran

Pengujian dilakukan pada lintasan campuran dengan dua buah lintasan lurus dengan panjang 1,5 m, dan dua lintasan seperempat lingkaran dengan jari – jari 60 cm nilai PWM sebesar 32 saat tidak ada manuver dan 50 saat bermanuver. Dari pengujian tabel diatas didapat grafik respon *input* LiDAR dengan *output* sudut servo yang sebelumnya telah melewati metode *Fuzzy Sugeno*. Dari gambar diatas dapat dilihat dari waktu sampling 1 hingga 65 servo bergerak menuju 90°, hal ini berarti sistem sedang berada pada lintasan lurus, sedangkan waktu sampling 65 hingga 105 servo rata – rata bergerak diatas 90° berarti sistem sedang berada pada lintasan seperempat lingkaran kanan, setelah itu dari waktu sampling 105 hingga 153 servo bergerak

menuju 90°, hal ini berarti sistem sedang berada di lintasan lurus, dan waktu sampling 153 hingga 209 rata – rata servo bergerak dibawah 90° , berarti sistem sedang berada pada lintasan seperempat lingkaran kiri. Dari data diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa Tabel 3.2 dan Gambar 3.7 berfungsi dan mempengaruhi *output*.

### 3.7 Akurasi Sistem

Pengujian ini dilakukan pada lintasan campuran sebanyak 40 kali, dengan nilai PWM yang sama dengan pengujian sebelumnya, sistem dapat berhasil bergerak menyusuri marka sebanyak 35 kali dari 40 kali percobaan, dengan menggunakan persamaan (4.4) didapatkan besar akurasi sistem sebesar 87,5 %

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Percobaan Berhasil}}{\text{Total Percobaan}} \times 100\% \quad (4)$$

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian dan pengambilan data di atas, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu, sensor LiDAR yang digunakan masing – masing memiliki akurasi sebesar 93,983% dan 92,21%, Nilai PWM minimal yang dibutuhkan dengan menggunakan 3 buah baterai 3,7 V yang dirangkai seri agar sistem dapat bergerak adalah 30 dengan kecepatan yang dihasilkan sebesar 0,18 m/s dan dari pengujian yang dilakukan, sistem memiliki akurasi sebesar 87,5 %, nilai ini didapat dari 40 kali percobaan menyusuri lintasan campuran, dan didapatkan hasil 35 kali berhasil dan 5 kali gagal.

### Daftar Pustaka:

- [1] Sadiku, M. N., Shadare, A. E., & Musa, S. M. (2017). Smart Transportation: A Primer. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 6-7.
- [2] Rathod, S. D. (2013). An Autonomous Driveless Car: An Idea to Overcome the Urban Road Challenges. *Journal of Information Engineering and Applications*, 34-38.
- [3] Sunandar, I., & Syarifudin, D. (2014). LiDAR: PENGINDERAAN JAUH SENSOR AKTIF DAN APLIKASINYA DI BIDANG KEHUTANAN. *Jurnal Planologi Unpas*, 145-153.
- [4] Bardt, H. (2017). Autonomous Driving. *a Challenge for the Automotive Industry*, Vol. 52, Iss. 3, pp. 171-177, ISSN: 1613-964X.
- [5] Eka Putra, I. K. (2016). Sistem Kerja Sensor Laser pada LIDAR. *Jurnal Media Komunikasi Geografi*, 59-70, ISSN: 0216-8138.



- [6] Yoo, H. W., Druml, N., Brunner, D., Schwarzl, C., Thurner, T., Hennecke, M., et al. (2018). MEMS-Based LiDAR for Autonomous Driving. *e & i Elektotechnik und Informationstechnik*, ISSN: 1613-7620.
- [7] Shi, J. W. (2011). *Photodiodes: Communications, Bio-Sensings, Measurements and High-Energy Physics*. Croatia: InTech, p.cm. ISBN: 978-953-307-277-7.
- [8] Young, J. (2011). *LiDAR for Dummies*. Hoboken: Wiley Publishing, Inc., ISBN: 978-0-470-94225-3.
- [9] Setiawan, D. (2017). Sistem Kontrol Motor DC Menggunakan PWM Arduino Berbasis Android Sistem. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, Vol. 15, No. 1, 7-14, ISSN: 2407 - 0939.
- [10] Dardak, A. H. (2009). Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol. *Standar Konstruksi dan Bangunan*.

