

Implementasi Kamera OV7670 Sebagai Pendekripsi Garis Pada Robot *Line Follower*

Muhammad Rizal¹, Waru Djuriatno, ST., MT², Mochammad Rif'an, ST., MT.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro UB, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro UB

Email : rizal.muhammad.v@gmail.com

Abstrak – Navigasi *line following* merupakan salah satu sistem navigasi *autonomous mobile robot*, dimana robot tipe *line follower* ini bergerak mengikuti lintasan dalam bentuk garis tebal. Tugas akhir ini merancang dan mengimplementasikan kamera OV7670 pada robot *line follower* beroda tipe *differential drive* untuk mendapat gambar dari lintasan. Dari gambar yang diperoleh dapat dideteksi jarak antara robot dengan tengah lintasan (l) dan juga sudut hadap robot dengan lintasan (α). Digunakan Kontroler logika *fuzzy* untuk mengendalikan robot dengan masukan α dan l . Dengan bantuan kontroler Logika *fuzzy* robot *line follower* mampu bernaligasi dengan baik. Dengan menggunakan kamera OV7670 robot *line follower* dapat mendekteksi jarak robot (l) dan sudut simpangan robot (α) dengan kesalahan rata rata pembacaan (l) 0.598 mm dan kesalahan rata rata pembacaan (α) 0.69°.

Kata Kunci : robot *line follower*, kontroler logika *fuzzy*, kamera OV7670, jarak robot dengan lintasan (l), sudut robot dengan lintasan (α)

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Mobile robot line follower bergerak dengan cara mengikuti garis untuk mencapai tujuan. Pada robot *line tracer* ini pada umumnya digunakan sensor cahaya yang menangkap besar nya intesitas cahaya yang di terima dari sebuah lampu LED yang di pantulkan ke alas. Perbedaan intesitas terjadi bila lampu LED di pantulkan ke alas dengan warna terang dan warna gelap. Alas dengan warna terang lebih banyak memantulkan cahaya dibanding dengan alas berwarna gelap.

Kelemahan dari sensor ini yaitu sensor hanya dapat mengerti jarak antara robot dengan garis, itupun dengan ketelitian yang terbatas, tergantung dari jumlah sensor yang dipakai dan peletakannya.. Hal ini menyebabkan robot *line follower* tidak mengetahui besar simpangan antara robot dengan garis dan juga kurangnya ketelitian dalam membaca posisi garis. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini yaitu dengan mengganti sensor pendekripsi garis yang dapat mengetahui apa yang ada di depan robot. Salah satu sensor yang dapat menunjang hal tersebut yaitu dengan menggunakan sensor kamera.

Maka dalam skripsi ini dirancanglah implementasi kamera OV7670 sebagai pendekripsi garis pada robot *line follower*. Sistem ini dirancang supaya dapat mengatasi masalah sebelumnya, sehingga robot

line follower dapat mengetahui simpangan robot dengan garis dan jarak dari robot ke garis secara teliti. Kendali Logika *Fuzzy* diperlukan untuk mengontrol pergerakan robot sehingga robot dapat stabil mengikuti garis.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kamera OV7670



Gambar 2.1 Kamera OV7670

Kamera OV7670 mengirim data secara parallel synchronous. Untuk mendapat data dari modul kamera, pin XCLK di pin modul ini harus di berikan masukkan clock antara 10 – 48 MHz. Setelah pin XCLK diberi masukkan clock maka modul kamera OV7670 akan mulai menjalankan VSYNC, HREF dan D0-D7. Data D0 – D7 diambil oleh mikrokontroller saat tepi naik dari sinyal PCLK, dan saat sinyal dari pin HREF berlogika *high*. Tepi naik dari HREF menandai mulainya suatu baris, dan tepi turun dari sinyal HREF menandai akhir dari baris. Semua byte data yang tersampel saat HREF berlogika *high* merupakan data semua piksel dalam satu baris. Satu frame didapat saat VSYNC berlogika *low*. Tepi turun dari VSYNC menunjukkan awal dari frame dan tepi naik dari VSYNC menunjukkan akhir dari sebuah frame [1]. Kamera OV7670 memiliki sudut tangkap vertikal 25° dan sudut tangkap horizontal 33°.

B. STM32F4 Discovery

STM32F4 Discovery merupakan suatu *development board* dengan mikrokontroller ARM Cortex M4 yang memiliki kecepatan sampai 168 MHz. Mikrokontroller ini memiliki 1 MByte Flash PEROM, 192 Kbyte SRAM [2]. Gambar STM32F4 Discovery ditunjukkan oleh gambar 2.2

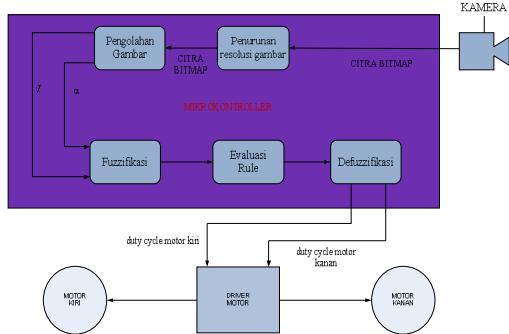


Gambar 2.2 STM32F4 Discovery

Mikrokontroller STM32F4 memiliki antarmuka kamera yang dapat terhubung dengan kamera melalui 8 bit sampai 14 bit antarmuka parallel. Gambar yang diterima oleh mikrokontroller disimpan dalam RAM dengan menggunakan DMA (*Direct Memory Acces*). DMA merupakan suatu teknik perpindahan data dari suatu alamat memori ke alamat memori yang lain tanpa mengganggu kerja dari mikroprosesor.

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Perancangan Sistem Keseluruhan



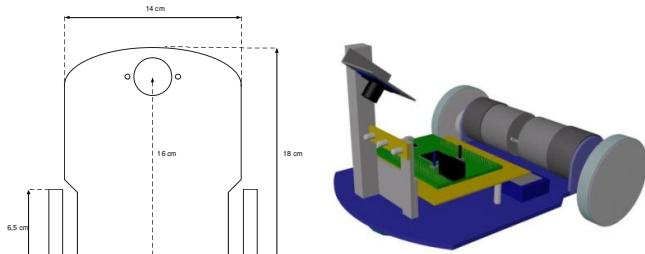
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Perancangan Robot *Line Follower*

Kamera menangkap gambar bitmap yang kemudian dikirim ke mirokontroller. Lalu dilakukanlah penurunan resolusinya. gambar yang telah diturunkan resolusinya akan diolah supaya didapatkan nilai dari (a) dan (l). Kedua nilai ini menjadi masukkan dari kontroler logika fuzzy. Keluaran Logika fuzzy berupa persentase kecepatan sudut yang diubah menjadi PWM.

B. Perancangan Perangkat Keras

1. Desain Mekanik

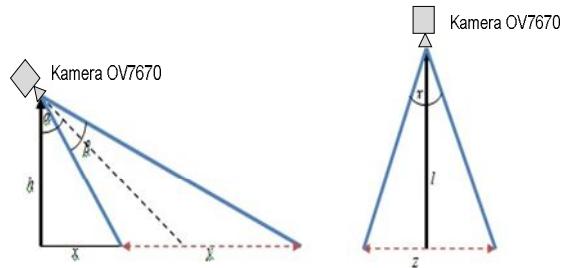
Sistem mekanik yang baik, mendukung pergerakan robot menjadi lebih baik. dimensi robot dalam perancangan yaitu panjang = 18 cm, lebar = 16 cm dan tinggi = 21 cm.



Gambar 3.2 Rancangan Desain Mekanik Tipe *Differential Drive* dan Hasil Perspektif Desain Mekanik Robot *line Follower*

2. Penempatan Kamera OV7670

Penempatan kamera menentukan bidang tangkap kamera yang diproyeksikan dalam bentuk gambar. Gambar bidang tangkap kamera vertikal dan horizontal kamera ditunjukkan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Prespektif bidang tangkap vertikal dan horizontal
Pada bidang tangkap vertikal :

$$x = h \times \tan \left(\alpha - \left(\frac{1}{2} \times \beta \right) \right)$$

$$y = \left(h \times \tan \left(\alpha + \left(\frac{1}{2} \times \beta \right) \right) \right) - x$$

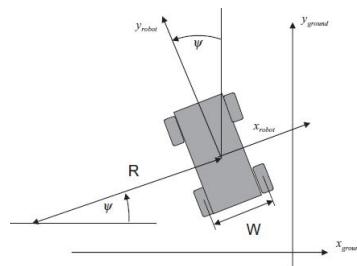
Pada bidang tangkap horizontal:

$$l = \frac{h}{\cos \alpha}$$

$$z = 2 \times \left(l \times \tan \left(\frac{1}{2} \beta \right) \right)$$

Kamera diletakkan dengan tinggi 14.5 cm dan sudut 25° dari sumbu vertikal maka didapat bidang tangkap kamera berbentuk trapesium dimana letak sisi yang lebih pendek (a) berada paling dekat dengan robot dan sisi yang paling panjang (b) berada yang paling jauh dari robot. Dengan ketentuan tersebut maka bidang tangkap kamera berada 3.21 cm di depan kamera, memiliki panjang vertical 7.91 cm, lebar horizontal a yaitu 8.85 cm dan lebar horizontal b yaitu 10.82 cm.

3. Kinematika Robot *Differential Drive*



Gambar 3.4 Kinematika *differential drive*

Pada robot dengan sistem penggerak differential drive ω merupakan kecepatan sudut yang dikarenakan perbedaan kecepatan roda kanan dan kiri, dan W merupakan jarak antara roda [3]. Hubungannya yaitu:

$$\omega = \frac{V_{kanan} - V_{kiri}}{W}$$

$$R = \frac{V_{kiri}}{\omega} + \frac{W}{2}$$

Untuk mendapat nilai kecepatan kanan dan kiri maka perlu ditetapkan nilai kecepatan konstan pada sumbu y V_y . Hubungan dengan ω yaitu :

$$\frac{V_y}{\omega} = \frac{V_{kiri}}{\omega} + \frac{W}{2}$$

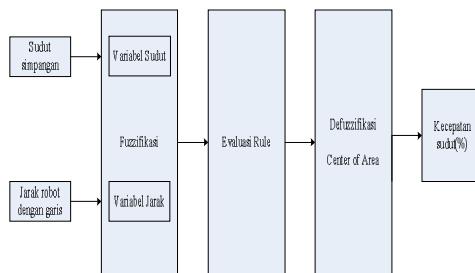
Maka kecepatan roda kiri dan kanan :

$$V_{kiri} = \frac{2V_y - \omega W}{2}$$

$$V_{kanan} = \frac{2V_y + \omega W}{2}$$

C. Perancangan Kontroler Logika Fuzzy

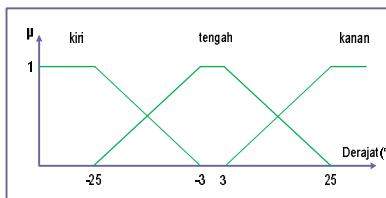
Kontroler logika fuzzy digunakan sebagai perhitungan presentase kecepatan sudut robot. Terdapat dua masukan untuk kontroler logika fuzzy yaitu α dan l . Blok diagram kontroler logika fuzzy yang akan dirancang ditunjukkan oleh gambar 3.6



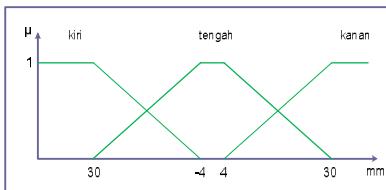
Gambar 3.5 Blok diagram kontroler logika fuzzy

1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel numerik menjadi variabel linguistik [4]. Nilai masukan didapat dari kamera yaitu l dan α . Masing-masing masukan memiliki tiga variabel linguistik. Fungsi masukan dari logika fuzzy dapat dilihat pada gambar 3.6.

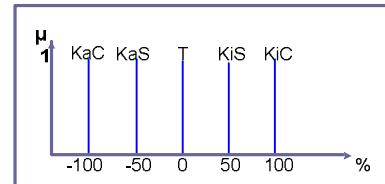


Gambar 3.6 Fungsi keanggotaan α



Gambar 3.7 fungsi keanggotaan masukan l

Fungsi keanggotaan keluaran logika fuzzy yaitu berupa presentase kecepatan sudut. Fungsi keanggotaan ditunjukkan oleh gambar 3.8



Gambar 3.8 Fungsi keanggotaan keluaran logika fuzzy

2. Kaidah Atur Logika Fuzzy

Kaidah atur (*rule*) dalam logika fuzzy didasarkan pada model perilaku bergerak mengikuti garis dan disusun dalam bentuk jika – maka. Setelah masukan diubah ke dalam variabel linguistik selanjutnya diolah sesuai dengan kaidah aturannya. Kaidah atur yang digunakan terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Kaidah Atur Logika Fuzzy

Sudut simpangan	Jarak robot dengan garis	Kec. Sudut
Kiri	Kiri	KiC
Tengah		KiS
Kanan		T
Kiri	Tengah	KiS
Tengah		T
Kanan		KaS
Kiri	Kanan	T
Tengah		KaS
Kanan		KaC

3. Defuzzifikasi

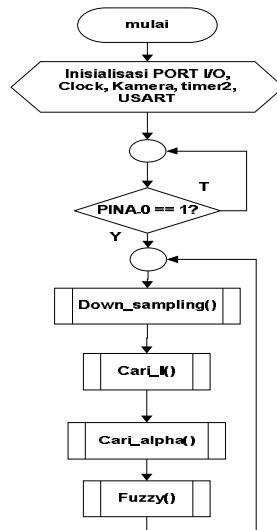
Defuzzifikasi adalah proses mengubah keluaran fuzzy menjadi keluaran *crisp*. Hasil defuzzifikasi inilah yang digunakan untuk mengatur kecepatan sudut robot. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah *Center of Area* (COA) [5]. Dengan rumus sebagai berikut :

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

D. Perancangan Perangkat Lunak

1. Program Utama Mikrokontroler

Diagram alir program utama mikrokontroler meliputi proses inisialisasi, konfigurasi kamera, penurunan resolusi, perhitungan (l) dan (α), kemudian perhitungan fuzzy sebagai proses berjalan robot *line follower*. Diagram alir program utama ditunjukkan dalam Gambar 3.9



Gambar 3.9 Diagram Alir Program Utama Mikrokontroler

2. Pengolahan Gambar Pada Mikrokontroler

Kamera di atur memiliki resolusi QCIF (176x144), dan gambar yang diambil memiliki format YCbCr 4:2:2. Ukuran satu gambar yang di tumpang oleh mikrokontroller sebesar 176 x 144 x 2 byte, atau 50688 byte.. Ada 25344 byte data yang merupakan data keabuan setiap piksel.

$$x(n) = \begin{pmatrix} x_1 & x_3 & \dots & x_{351} \\ x_{353} & \vdots & \vdots & x_{703} \\ x_{50337} & \dots & \dots & x_{50687} \end{pmatrix}$$

data tersebut menunjukkan susunan data keabuan dalam satu gambar. Nilai keabuan dari piksel ke-n yaitu pada $x_{(n \times 2)-1}$. Nilai $x_1 - x_{351}$ menunjukkan data keabuan pada baris pertama. Gambar akan diturunkan resolusinya sesuai dengan ketelitian yang diinginkan. Karena di inginkan kemiringan minimal garis yang dapat dideteksi oleh robot 2°, maka resolusi diturunkan supaya dalam satu piksel pada baris pertama memiliki lebar 2.76 mm. karena ukuran piksel bukanlah dalam bentuk real, maka supaya mendekati nilai lebar yang diinginkan resolusi diturunkan menjadi 44 x 24.

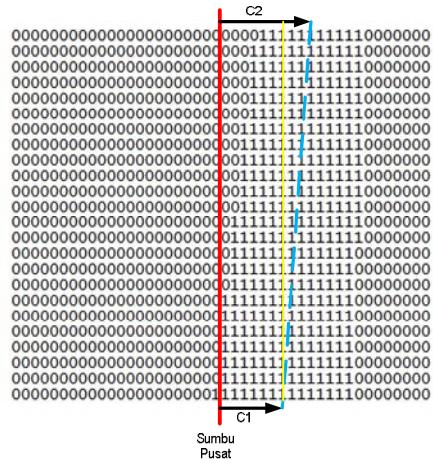
$$\begin{pmatrix} x_0 & \dots & x_3 \\ x_{176} & \vdots & x_{179} \\ x_{880} & \dots & x_{883} \end{pmatrix} \text{ menjadi } (y_0)$$

Untuk memperoleh nilai dari y_0 ditentukan dulu nilai - nilai dari matriks pembentuknya di klasifikasi kedalam 2 jenis saja yaitu gelap dan terang.

$$x_n = \begin{cases} \text{Gelap}, & x_n < 128 \\ \text{Terang}, & x_n \geq 128 \end{cases}$$

Jika dalam matriks lebih banyak terdapat gelap daripada terang maka nilai y_0 bernilai gelap, dan sebaliknya.

Setelah didapat gambar dengan resolusi yang lebih kecil, maka gambar akan diolah untuk memperoleh sudut simpangan (α) dan jarak robot terhadap garis (l). Hasil pengolahan gambar terlihat pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Proses pencarian nilai α dan l
Untuk mendapatkan nilai (l) yaitu dengan mengalikan C1 (piksel) dengan konstanta lebar setiap piksel pada baris terakhir. Untuk nilai dari (α) diperoleh :

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{(C2 \times K) - l}{\text{lebar vertikal gambar}}$$

Dengan nilai K yaitu konstanta lebar setiap piksel pada baris pertama dan lebar vertikal gambar yaitu 7.91 cm.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

A. Pengujian Komunikasi SCCB

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah komunikasi SCCB untuk pengaturan kamera bisa dilakukan. Hasil pengujian pembacaan data dari beberapa register OV7670 dapat dilihat pada tabel 4.1

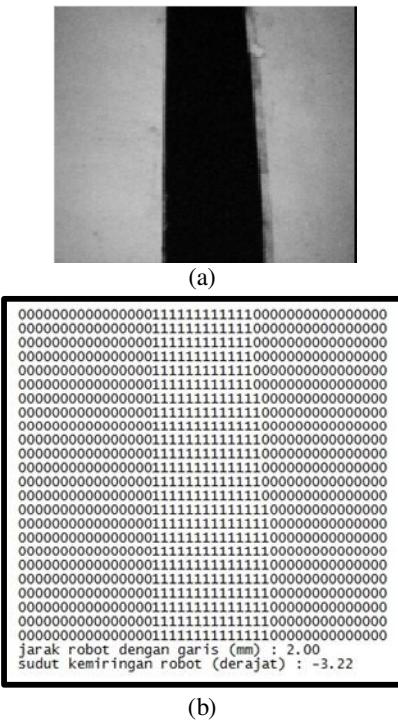
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Komunikasi SCCB

No.	Alamat Register (Hex)	Data pada datasheet (hex)	Data terbaca(hex)
1	0x0A	0x76	0x76
2	0x0B	0x73	0x73
3	0x1C	0x7F	0x7F
4	0x1D	0xA2	0xA2

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.1 dapat disimpulkan bahwa komunikasi antara mikrokontroler dan kamera OV7670 berjalan baik, ditunjukkan oleh data yang terbaca oleh mikrokontroler sesuai data pada datasheet OV7670.

B. Pengujian Pengolahan Gambar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana hasil gambar yang sudah diolah oleh mikrokontroler dan juga untuk mengetahui ketelitian dari garis (l) dan juga (α). Ketelitian didapat dengan membandingkan data perhitungan dari gambar yang telah diolah dan data perhitungan dari gambar asli.



Gambar4.1 (a) Gambar asli yang ditangkap kamera (b) gambar yang telah diolah

Pada perhitungan yang dilakukan secara manual pada gambar 4.1(a) didapatkan jarak robot dengan garis (l) sejauh 2.36 mm dan juga sudut hadap robot (α) sebesar -2.13° . Terdapat kesalahan pembacaan jarak robot dengan garis(l) sebesar 0.36 mm dan kesalahan pembacaan sudut (α) sebesar 1.09° . Hasil Pengujian dari ketelitian pembacaan (l) dan (α) dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Ketelitian pembacaan (l) dan (α)

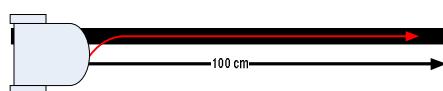
No	perhitungan gambar asli		perhitungan mikrokontroller		Error l (mm)	Error α ($^\circ$)
	l (mm)	α ($^\circ$)	l (mm)	α ($^\circ$)		
1	8.98	-2.72	8	-2.24	0.98	0.48
2	17.03	-6.85	18	-7.67	0.97	0.82
3	2.36	-2.13	2	-3.22	0.36	1.09
4	-16.08	7	-16	6.24	0.08	0.76
5	24.6	0	24	0.3	0.6	0.3
Error rata rata pembacaan l (mm)				0.598		
Error rata rata pembacaan α ($^\circ$)				0.69		

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.2 yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa mikrokontroller dapat mengolah gambar dan menghitung nilai (α) dan (l) dengan kesalahan rata rata pembacaan (l) 0.598 mm dan kesalahan rata rata pembacaan (α) 0.69 $^\circ$.

C. Pengujian Respon Posisi

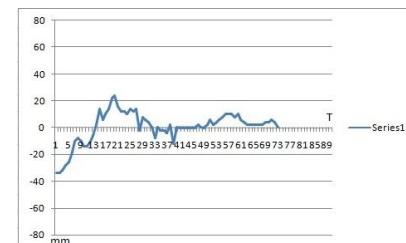
1. Pengujian Robot di Lintasan lurus

Prosedur pengujian dapat dilihat pada gambar



Gambar4.2 Prosedur pengujian lintasan lurus

Robot diletakkan pada posisi di sebelah kanan garis dengan lintasan yang lurus. Robot akan bergerak supaya robot berada di tengah dari lintasan

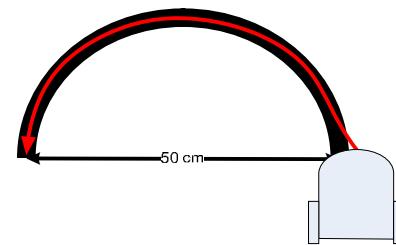


Gambar4.3 Respon posisi pada lintasan lurus

Gambar 5.7 menunjukkan grafik respon saat posisi awal robot berjarak -35 mm dari tengah lintasan. Dari Grafik tersebut, pada $T = 35$, atau setelah 2.3 sekron robot sudah berada ditengah lintasan dan mengikuti lintasan dengan sedikit osilasi. T merupakan periode pengambilan data dari mikrokontroller dengan nilai $T = \frac{1}{15}$ sekron.

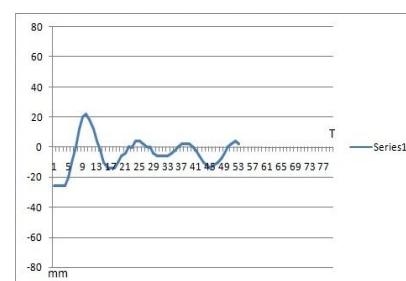
2. Pengujian Robot di Lintasan Menikung

Prosedur pengujian dapat dilihat pada gambar



Gambar 4.4 Prosedur pengujian lintasan menikung

Robot diletakkan pada posisi di sebelah kanan garis dengan lintasan menikung. Robot akan bergerak supaya robot berada di tengah dari lintasan



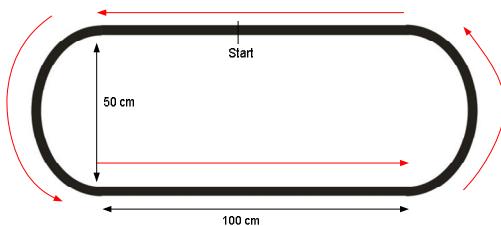
Gambar 4.5 Respon posisi pada lintasan menikung

Gambar 4.5 menunjukkan grafik respon posisi robot saat berada di lintasan menikung, pada lintasan ini grafik respon selalu berosilasi.

D. Pengujian Keseluruhan Sistem

1. Pengujian Robot Dengan Tikungan ke Kiri

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performa sistem yang telah dirancang. Arena pengujian dan ilustrasi jalur pergerakan robot ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Lintasan pengujian robot dengan tikungan ke kiri

Pada Arena, Robot diletakan pada posisi awal (Start) Arah panah menunjukkan ilustrasi rute yang dilewati robot selama proses pengujian. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.4.

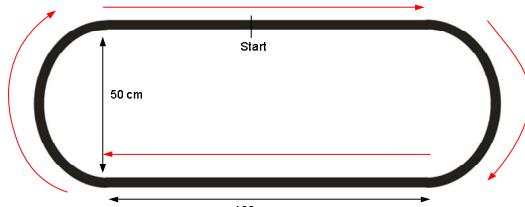
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Robot Mengikuti lintasan (kiri)

Pengujian	waktu (detik)	Hasil Pengujian
1	10,75	Berhasil menyelesaikan lintasan
2	11.7	Berhasil menyelesaikan lintasan
3	11.6	Berhasil menyelesaikan lintasan
4	10.2	Gagal menyelesaikan lintasan, keluar di tikungan ke tiga
5	11.9	Berhasil menyelesaikan lintasan

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa robot *line follower* dengan mengimplementasikan kamera OV7670 pada mikrokontroller STM32 berhasil menjadi masukkan dari kontroler logika fuzzy yang membuat keputusan dalam menentukan pergerakan robot selama mengikuti lintasan.

2. Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kiri

Arena pengujian dan ilustrasi jalur pergerakan robot ditunjukkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.7 Lintasan pengujian robot dengan tikungan ke kanan

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Robot Mengikuti lintasan (kanan)

Pengujian	waktu (detik)	Hasil Pengujian
1	11.0	Berhasil menyelesaikan lintasan
2	11.3	Berhasil menyelesaikan lintasan
3	11.07	Berhasil menyelesaikan lintasan
4	11.20	Berhasil menyelesaikan lintasan
5	11.84	Berhasil menyelesaikan lintasan

Secara garis besar, Hasil pengujian keseluruhan yang dilakukan baik pengujian dengan tikungan ke kanan dan pengujian lintasan dengan tikungan ke kiri mendapatkan kemiripan hasil karena pada perancangan yang telah dilakukan menggunakan aturan aturan dan fungsi keanggotaan yang sama.

V. PENUTUP

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada pengerajan tugas akhir ini, maka dapat diperoleh beberapa simpulan diantaranya:

1. Peletakkan kamera yang meliputi tinggi kamera 14.5 cm dan sudut kamera 25° sudah dapat menunjang navigasi *line following*.
2. Pengaturan kamera OV7670 oleh mikrokontroller melalui kamera SCCB berjalan dengan baik. ditunjukkan oleh data yang terbaca oleh mikrokontroller sesuai data pada *datasheet* OV7670.
3. mikrokontroller dapat mengolah gambar dan menghitung nilai (α) dan (l) dengan kesalahan rata rata pembacaan (l) 0.598 mm dan kesalahan rata rata pembacaan (α) 0.69 $^\circ$.
4. Penerapan kontroler Fuzzy pada robot *line follower* telah mampu membuat navigasi robot menjadi stabil. Dan mampu untuk menyelesaikan lintasan dengan waktu rata – rata 11.37 detik.

Daftar Pustaka

- [1] STMicroelectronics. 2012. *STM32F4DISCOVERY, STM32F4 high performance discovery board*.
- [2] OmniVision. 2006. *OV7670/OV7171CMOS VGA (640x480) CameraChip sensor with OmniPixel Technology*.
- [3] Cook, Gerald. 2011. *Mobile Robot : Navigation, Control and Remote Sensing*. New Jersey : John Willey & Son, Inc.
- [4] Kuswandi, Son. 2007. *Kendali Cerdas: Teori dan Aplikasi Praktisnya*. Yogyakarta: ANDI.
- [5] Sutikno. *Perbedaan Metode Defuzzifikasi Aturan Mamdani Pada Sistem Kendali Logika Fuzzy*. Semarang: Jurnal Jurusan Teknik Elektro FT-UNDIP.