

# Perancangan Sistem Kontrol Kecerdasan Pada Segway Beroda Dua Berbasis Matlab/Simulink

Dadang Yuda Saputra, I Wayan Widhiada, I Ketut Adi Atmika  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

## Abstrak

Segway adalah alat transportasi listrik yang fleksibel dan mudah diendarai. Segway juga merupakan kendaraan hemat daya sehingga dapat menjadi alternatif transportasi jarak dekat yang ramah lingkungan. Pada penelitian kali ini segway akan di buat hanya bisa seimbang dalam keadaan statis dengan menggunakan kontrol kecerdasan Fuzzy Logic Control yang akan seimbang ketika segway dimiringkan dengan sudut dan membaca kemiringan sudut dengan sudut maksimum  $15^\circ$  kedepan maupun kebelakang. Segway menggunakan sensor MPU6050 berbasis mikrokontroler arduino dengan membuat kontrol menggunakan software MATLAB dan simulink. Sensor membaca perubahan sudut jadi ketika sudut terbaca mengalami perubahan sudut maksimal  $15^\circ$  maka motor DC akan bergerak sebaliknya dan Fuzzy Logic Control berupaya menyeimbangkannya dengan sinyal respon minimal maximum overshoot  $\leq 5\%$ , error signal  $\leq 5\%$  dan settling time kurang dari 5 detik sebagai standar robotika. Fuzzy logic control menggunakan rule yang sudah dibuat sedemikian rupa agar bisa menyeimbangkan segway. Dan didapatkan pada kemiringan maksimal  $15^\circ$  maximum overshoot 3%, persentase error 4.7% dan settling time 4 detik kemudian pada kemiringan  $-15^\circ$  maximum overshoot 26.6%, persentase error 2.8% dan settling time 2 detik..

**Kata Kunci:** Segway, Arduino, Robot Keseimbangan, Logika Fuzzy, Matlab

## Abstract

Segway is a means of electric transportation that is flexible and easy to ride. The Segway is also a power-efficient vehicle so it can be an environmentally friendly alternative to short-distance transportation. In this research, the segway will only be balanced in a static state by using intelligent Fuzzy Logic Control which will balance when the segway is tilted at an angle and reads the tilt angle with a maximum angle of  $15^\circ$  forward and back. Segway uses the MPU6050 sensor based on the Arduino microcontroller with make control using MATLAB and simulink software. The sensor reads the change in angle so when the reading angle changes to a maximum angle of 15 the DC motor will move the other way around and Fuzzy Logic Control tries to balance it with a minimum response signal of maximum overshoot  $< 5\%$ , error signal  $< 5\%$  and settling time less than 5 seconds as standard robotics. Fuzzy logic control uses rules that have been made in such a way as to balance the segway. And obtained at a maximum slope of  $15^\circ$  maximum overshoot 3%, error percentage 4.7% and settling time 4 seconds then on a slope  $-15^\circ$  maximum overshoot 26.6%, percentage error 2.8% and settling time 2 seconds.

**Keywords:** Segway, Arduino, Balancing Robot, Fuzzy Logic, Matlab

## 1. Pendahuluan

Pada zaman teknologi dan revolusi industri 4.0 seperti ini alat transportasi dan *manufacturing* dari transportasi pun sangat berkembang pesat. Disini diketahui bahwa otomatisasi sangat dibutuhkan bagi beberapa perusahaan, manusia sangat terbantu akan kehadiran robot - robot dan mesin - mesin yang menunjang aktifitas produksi. Transportasi merupakan salah satu yang paling diunggulkan karena transportasi merupakan penunjang kegiatan manusia untuk mencapai ke titik tertentu.

Banyak sekali macam - macam alat transportasi listrik yang sudah ada dalam kehidupan kita sehari - hari karena saat ini kendaraan listrik merupakan moda transportasi yang paling efisien dalam menghadapi emisi gas yang membuat

pencemaran udara. Dan juga penggunaan kendaraan listrik lebih praktis dan efisien.

Dari bermacam - macam kendaraan listrik yang ada saat ini seperti sepeda listrik, scooter listrik dll. Segway memiliki mobilitas tinggi. Kehadiran segway membuat manusia sangat terbantu karena segway memiliki dimensi yang ramping sehingga manusia pun ingin mencapai suatu titik tertentu dalam jarak dekat seperti di perkantoran, lingkungan sekolah dan dirumah pun menjadi sangat mudah. Untuk mencapai itu Dean Kamen, dkk membuat sebuah penelitian tentang alat menggunakan sensor giroskopik lalu terciptalah *segway* seperti sekarang ini[1].

*Segway* menerapkan sistem inverted pendulum dimana sistem memiliki bandul dan tongkat pendulum yang di pasang terbalik

Dengan mengacu dari sistem inverted pendulum maka segway pun dapat seimbang [2].

Dari beberapa penelitian yang sudah di jabarkan diketahui pengontrolan segway yang merupakan implementasi dari inverted pendulum yaitu mengontrol bagaimana pendulum segway dapat seimbang atau kembali ke posisi sudut semula dengan segway bergerak secara statis tegak berdiri seimbang diatas cart yang memiliki dua roda kanan dan kiri.

Penelitian ini menggunakan mikrokontroler arduino, sensor MPU6050, motor dc, driver motor BTS 7960 dan komponen lainnya. Segway akan bergerak secara statis dan diberi gaya sebesar kemiringan 15° lalu dilepas dan memperhatikan sinyal respon yang dihasilkan. Kontrol yang digunakan yaitu *fuzzy Logic Control*.

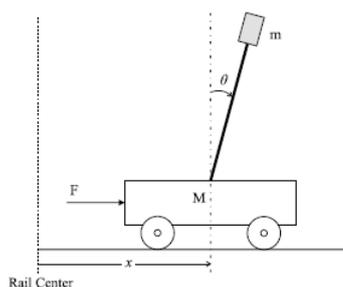
Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan respon sinyal sesuai standar robotika yaitu maximum overshoot  $\leq 5\%$ , error signal  $\leq 5\%$  dan settling time secepatnya. Jika sudah tercapai maka segway sudah sesuai standar robotika yang akan di ujikan. Batas batas tersebut merupakan syarat mutlak dari pengendali otomatis agar suatu sistem bisa menjaga performanya saat mulai /atau start awal tidak terjadi sentakan sehingga kenyamanan akan berkurang. Penggunaan dari sistem kontrol ini di harapkan mampu mengurangi sentakan awal dari *Segway* yang akan di rancang.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Inverted Pendulum

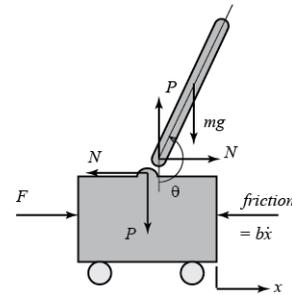
Sistem ini sangat banyak ada di berbagai macam sumber literatur sistem kontrol. Karena inverted pendulum merupakan suatu sistem pengontrolan *cart* yang ada di bawah pendulum dan digerakkan ke arah x agar pendulum yang diatasnya dapat seimbang.

Sistem yang bergerak secara non linier ini menggunakan pengontrolan yang membuat pendulum di atasnya tetap tegak tanpa jatuh sedikitpun. Sistem ini biasa di terapkan pada *balancing robot*, *hover board* dan *segway*.



Gambar 1. Inverted pendulum

### 2.2 Pemodelan Matematika



Gambar 2. Free Body Diagram Inverted Pendulum

Dengan menjumlahkan gaya dalam *free-body diagram*, *cart* dalam arah horizontal, maka mendapatkan persamaan gerak berikut.

$$M\ddot{x} + b\dot{x} + N = F \quad (1)$$

Menjumlahkan gaya dalam *free-body diagram* dari *pendulum* dalam arah horizontal, maka mendapatkan persamaan berikut untuk gaya reaksi N.

$$N = m\ddot{x} + ml\ddot{\theta} \cos \theta - ml\dot{\theta}^2 \sin \theta = F \quad (2)$$

Jika mengganti persamaan ini menjadi persamaan pertama, maka mendapatkan salah satu dari dua persamaan yang mengatur untuk sistem ini.

$$(M + m)\ddot{x} + b\dot{x} + ml\ddot{\theta} \cos \theta - ml\dot{\theta}^2 \sin \theta = F \quad (3)$$

Untuk mendapatkan persamaan gerak kedua untuk sistem ini, jumlahkan gaya tegak lurus terhadap pendulum. maka harus mendapatkan persamaan berikut.

$$P \sin \theta + N \cos \theta - mg \sin \theta = -ml\ddot{\theta} + m\ddot{x} \cos \theta \quad (4)$$

Untuk menghilangkan istilah P dan N dalam persamaan di atas, jumlahkan momen tentang pusat massa *pendulum* untuk mendapatkan persamaan berikut.

$$-Pl \sin \theta - Nl \cos \theta = I\ddot{\theta} \quad (5)$$

Menggabungkan dua persamaan terakhir ini, maka mendapatkan persamaan perintah kedua [3].

$$(I + ml^2)\ddot{\theta} + mgl \sin \theta = -ml\ddot{x} \cos \theta \quad (6)$$

### 2.3 Sistem Kontrol

Sistem kontrol adalah suatu rangkaian yang terpusat mengendalikan suatu sistem yang sebelumnya terkonsep dengan sedemikian rupa melalui tahap perhitungan yang pasti. Terdapat dua macam sistem kontrol yaitu :

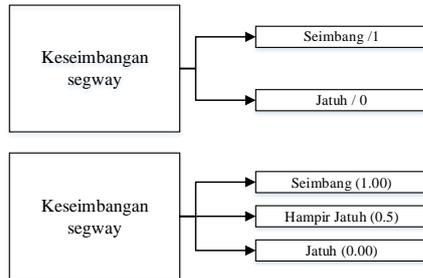
1. sistem kontrol loop tertutup
2. kontrol loop terbuka

### 2.4 Fuzzy Logic Control

*Fuzzy Logic Control* merupakan suatu sistem kontrol kecerdasan manusia yang memiliki banyak kemungkinan terjadi atau

menuju ketidakpastian dalam pengambilan keputusan.

Banyak sekali kemungkinan - kemungkinan yang terjadi karena fuzzy logic mengambil sebuah keputusan yang rentang kemungkinannya menjadi beberapa bagian.



**Gambar 3. Konsep Fuzzy Logic**

Dalam *Fuzzy Logic Control* terdapat beberapa tahap pengambilan keputusan yaitu diantaranya :

1. Basis Pengetahuan
2. Fuzifikasi
3. Logika pengambilan keputusan
4. Defuzifikasi

Basis pengetahuan merupakan bahan acuan atau dasar pengetahuan dari tahapan - tahapan *Fuzzy Logic Control* lalu di lanjutkan fuzifikasi sebagai pengubah nilai pasti pada sebuah data menjadi nilai linguistik agar bisa diolah oleh logika pengambilan keputusan yang keluarannya akan di defuzifikasi untuk mengubah variabel linguistik tadi menjadi nilai pasti[4].

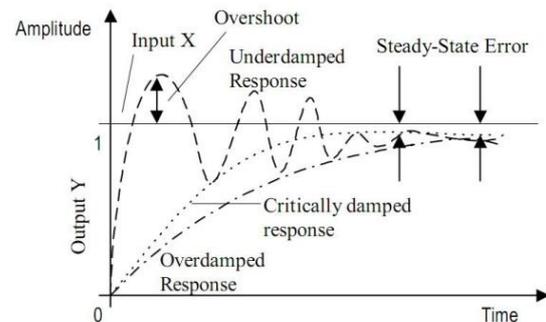
### 2.5 Respon Tanggapan Sistem

Setelah menciptakan suatu sistem kontrol yang sudah terkonsep, kita harus tahu nilai *output* yang dihasilkan agar dapat di analisis nantinya. Cara untuk melihatnya adalah dengan menganalisis tanggapan respon dari suatu sistem kontrol tersebut. Respon sistem adalah perubahan *output* terhadap sinyal *input*. Respon sistem nantinya akan berupa kurva akan menjadi acuan untuk menganalisis karakteristik sistem kontrol selain menggunakan persamaan/model matematika. Bentuk kurva respon tanggapan sistem dapat diketahui setelah menghasilkan sinyal *input*. Sinyal *input* yang diberikan untuk mengetahui karakteristik sistem disebut sinyal test. Ada 3 jenis *input* sinyal test yang digunakan untuk menganalisis sistem dari kurva response yaitu:

- a. *Impulse Signal*
- b. *Step Signal*
- c. *Ramp Signal*

Karakteristik respon sistem dapat di kategorikan menjadi 2 jenis, yaitu respon waktu (*Time Respons*) dan respon frekuensi

(*Frequency Respons*). Respon waktu adalah karakteristik sinyal respon yang spesifikasi performanya mengacu pada analisa kurva respon *output* sistem terhadap berubahnya waktu. Sedangkan respon frekuensi adalah karakteristik respon yang spesifikasi performanya didasarkan analisa magnitudo dan sudut fase dari penguatan sinyal *output* atau *input*. Disini menggunakan sinyal respon transient sebagai bahan analisa data karena sinyal respon transien merupakan sinyal dari perubahan tiba tiba yang di alami suatu sistem yang mengacu pada fungsi dari sistem tersebut



**Gambar 4. Sinyal respon transient**

### 2.6 Matlab/Simulink

Matlab merupakan sebuah software dengan bahasa komputasi yang sangat tinggi yang bertujuan mengintegrasikan suatu sistem yang sudah memiliki konsep secara matematis dan akan melalui proses pemrograman secara *interface* dan di olah di matlab untuk menjadikan sistem itu menjadi sistem yang sudah kompleks secara matematis [5].

Simulink adalah salah satu fitur paket perangkat lunak yang terintegrasi dengan Matlab untuk melakukan simulasi sistem dinamik dengan metode grafis. Dengan Simulink, suatu masalah teknikal atau sains matematis yang di sederhanakan dalam diagram blok dan panah-panah yang menggambarkan aliran sinyal dan fungsi-fungsi yang terlibat dalam suatu sistem dinamik.

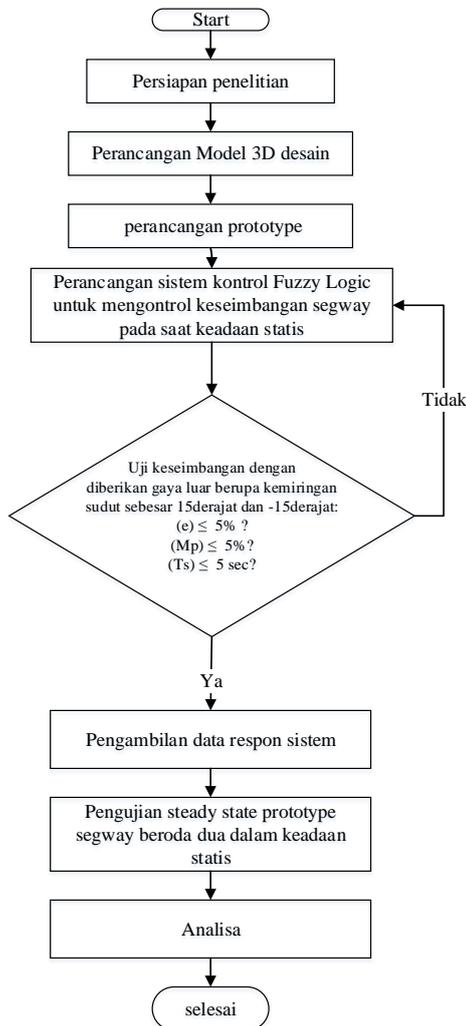
## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Deskripsi penelitian

Dalam penelitian kali ini tentang inverted pendulum menggunakan cart kendaraan beroda dua yang membentuk *Segway*. *Segway* bergerak berdasarkan dinamika sistem pendulum terbalik. Alat ini dapat bergerak maju dan mundur untuk mempertahankan keseimbangan. *Segway* memiliki dua roda yang terhubung dalam konfigurasi paralel [6].

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah perancangan sistem kecerdasan dengan menggunakan fuzzy logic Control dimana peneliti membuat visualisasi pemodelan dan pengujian hipotesis. Sebab akibat melalui pemanipulasian variabel bebas. Adapun variabel bebas yang digunakan adalah Input referensinya adalah sudut ( $\theta$ ) dan perubahan sudut ( $\omega$ ) dan terikatnya adalah output dari Actual outputnya adalah Sudut pendulum ( $\theta$ ).

### 3.2 Diagram alir



### 3.3 Alat penunjang penelitian

Pada penelitian kali ini di perlukan alat penunjang yaitu :

1. Komputer atau laptop dengan software *autodesk inventor*, MATLAB<sup>®</sup> simulink dan perancangan sistem kontrol fuzzy logic.
2. Rangkaian chasis berbahan dasar Logam besi yaitu Hollow dengan ukuran 5 cm x 5 cm
3. Motor Dc MY 1016
4. Arduino Uno R3

5. Sensor MPU 6050
6. Kabel jumper
7. Breadboard
8. Motor driver BTS 7960
9. Aki Panasonic power supply
10. Ban ukuran 16"
11. Rantai dan gear ukuran diameter 14 cm

### 3.4 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian sebagai berikut:

1. Mendesain model prototype *self balancing robot Segway* dengan menggunakan *autodesk inventor*
2. Diagram block simulink, dari desain 3D yang di hasilkan akan di export ke simulink dan terbentuklah diagram blocknya yang merupakan rangkaian dari sistem *self balancing robot Segway*
3. Membuat model matematis untuk dimasukkan ke *fuzzy logic Control* dan perancangan *fuzzy Rule* sehingga dapat diukur outputnya sehingga di temukan *error signal, maximum overshoot*, dan *settling time*.

### 3.5 Analisa data

Metode yang lakukan pada penelitian ini adalah metode dengan simulasi dan eksperimen, yang berarti peneliti membuat visualisasi pemodelan 3D dan menguji hipotesis sebab dan akibat melalui memanipulasi variabel bebas. Visualisasi pemodelan *Segway* menggunakan software Autodesk Inventor dan pengujian sistem Fuzzy logic dan simulasi menggunakan software MATLAB. Variable bebas merupakan input dari sistem kontrol Fuzzy Logic yaitu sudut referensi dengan pemodelan matematika yang telah di buat dan variabel terikat merupakan output berupa gerak aktual prototype dan respon tanggapan sistem yaitu keseimbangan dan respon sinyal yang di dapat. Data yang di dapat berupa grafik respon transien gerak self balancing robot dan dibuat pembahasan dari data sehingga di dapat kesimpulan dari penelitian perancangan dan implementasi sistem kontrol Fuzzy Logic pada prototype *Segway*.

## 4. hasil dan pembahasan

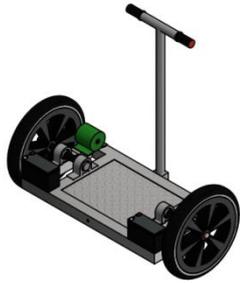
### 4.1 Pembuatan sistem prototype segway

Dalam pembuatan *segway* melalui beberapa tahap pembuatan yaitu tahap pembuatan sistem mekanis dan sistem elektronika.

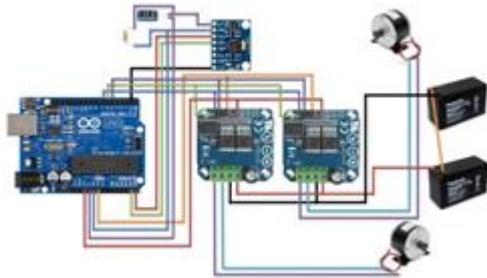
#### 4.1.1 Pembuatan sistem mekanis prototype segway

Pembuatan sistem mekanis diawali dengan pembuatan pemodelan 3D terlebih dahulu. Dengan memperhitungkan secara matematis dan menggunakan peralatan seperti

gerinda , bor dll. Peneliti membuat rangkan dan beberapa komponen mekanis lainnya sendiri. Pemodelan 3D menggunakan software *Inventor* dengan komponen komponen lengkap.



**Gambar 5. Pemodelan 3D prototype segway**  
**4.1.2 Pembuatan sistem elektronika prototype segway**



**Gambar 6. Rangkaian Kelistrikan Prototype Segway**

Konfigurasi pin rangkaian komponen listrik :

- a. Arduino UNO – Sensor MPU6050
  - 5V disambungkan ke VCC
  - GND disambungkan ke GND
  - A5 disambungkan ke SCL
  - A4 disambungkan ke SDL
  - TX 1 disambungkan ke INT
- b. Arduino UNO – Motor Driver
  - Pin 7 disambungkan ke LPWM
  - ~6 disambungkan ke RPWM
  - ~5 disambungkan ke PWM
  - GND disambungkan ke GND
  - 3.3V disambungkan ke 5V
- c. Motor Driver – AKI
  - B+ disambungkan ke +
  - B- disambungkan ke -
- d. Motor Driver – Motor DC
  - M+ disambungkan ke + motor
  - M- disambungkan ke - motor
- e. AKI Panasonic
  - + disambungkan ke posisi -
- f. Motor DC
  - + disambungkan ke M+
  - - di sambungkan ke M-

**4.1.3 Perancangan elemen mesin**

Menghitung Torsi Motor :

$$T = \frac{p \cdot 60}{2\pi n}$$

$$T = \frac{300 \cdot 60}{2 \cdot 3,14 \cdot 2650}$$

$$T = 1,08 Nm$$

T = Torsi (Nm)

P = Daya motor (watt)

N = putaran motor (RPM)

Menghitung daya maksimum motor

$$P = T \times \omega$$

$$P = 1,08 \times 277,5073$$

$$P = 299,707 watt$$

P = Daya motor (watt)

T = Torsi (Nm)

$\omega$  = Putaran motor (Rad/s)

Putaran roda setelah di reduksi transmisi

$$T_2 = T_1 \frac{n_1}{n_2}$$

$$68 = 11 \frac{2650}{n_2}$$

$$n_2 = 429 Rpm$$

T<sub>1</sub> = Jumlah gigi kecil (T)

T<sub>2</sub> = jumlah gigi besar (T)

N<sub>1</sub> = Putaran motor sebelum di reduksi (RPM)

N<sub>2</sub> = Putaran motor sesudah di reduksi (RPM)

Lama pemakaian

$$T = \frac{I_a}{I_m}$$

$$T = \frac{7,5}{16,5}$$

$$T = 0,6 jam$$

T = lama pemakaian (Jam)

L<sub>a</sub> = Arus (Ah)

L<sub>m</sub> = Arus yang dibutuhkan motor (a)

Kecepatan putaran motor seimbang

$$\frac{Pwm}{Pwm \max} \times \frac{RPM}{Perbandingan \ trannisi} = RPM$$

$$\frac{40}{255} \times \frac{2650}{6,19} = 67,2 RPM$$

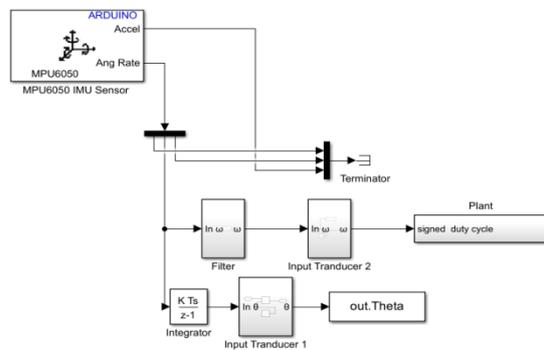
$$2 \times \pi \times Rpm = Rad/s$$

$$2 \times 3,14 \times 67,2 = Rad/s$$

$$677,2 Rad/s$$

**4.2 Pemodelan diagram blok simulink**

**4.2.1 Diagram blok tanpa kontrol**



**Gambar 7. Diagram blok simulink tanpa kontrol**

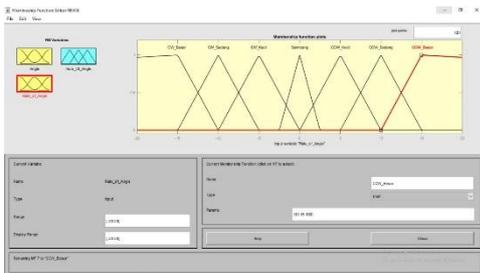
Setelah tahapan pembuatan *prototype* selesai, selanjutnya akan dibuatkan pemodelan dari sistem kontrol untuk mikrokontrolernya. Dalam penelitian kali ini sistem kontrol hanya menggunakan 1 DoF (*Degree of Freedom*).

Range=[-20 20]	Range=[-20 20]
'CW_Besar': 'trimf',	'CW_Besar': 'trimf',
[-180 -15 -10]	[-180 -15 -10]
'CW_Sedang': 'trimf',	'CW_Sedang': 'trimf',
[-15 -10 -5]	[-15 -10 -5]
'CW_Kecil': 'trimf',	'CW_Kecil': 'trimf',
[-0.5 0 0.5]	[-10 -5 0]
'Seimbang': 'trimf',	'Seimbang': 'trimf',
[-10 -5 0]	[-2.5 0 2.5]
'CCW_Kecil': 'trimf',	'CCW_Kecil': 'trimf',
[0 5 10]	[0 5 10]
'CCW_Sedang': 'trimf',	'CCW_Sedang': 'trimf',
[5 10 15]	[5 10 15]
'CCW_Besar': 'trimf',	'CCW_Besar': 'trimf',
[10 15 180]	[10 15 180]

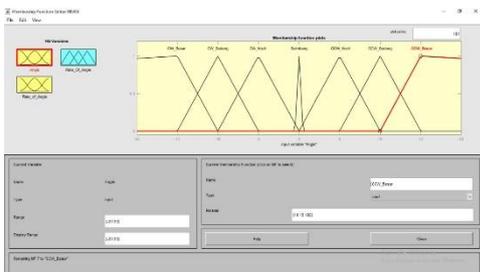
Pemodelan sistem tanpa kontrol dengan simulink ini dijadikan acuan dasar yang nantinya akan sebagai referensi sistem kontrol *fuzzy logic control*. Dalam gambar 4.5 diketahui bahwa sinyal dari sensor MPU 6050 merupakan input yang akan masuk ke filter yang fungsinya menyaring frekuensi sinyal paling maksimum menggunakan highpass filter dan low pass filter.

**4.2.2 Diagram blok dengan fuzzy logic control**

Putaran motor DC akan diatur dengan sinyal digital yang diterima arduino dari sudut yang terbaca pada sensor MPU6050.

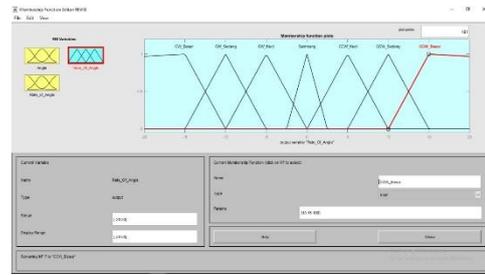


**Gambar 8. Input sudut fuzzy Logic Control**



**Gambar 9. Input perubahan sudut Fuzzy Logic Control**

Input yang dimasukkan ke dalam Fuzzy Logic designer yaitu sudut dan perubahan sudut. Dengan sudut maksimal yaitu 15°.

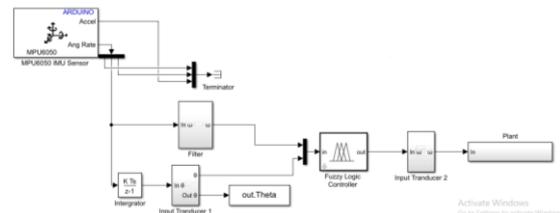


**Gambar 10. Output Fuzzy Logic angle dan angle rate Output yang dibuat berdasarkan input dan sudut referensi.**

Parameter Fuzzy Logic Control prototype Segway

Range=[-20 20]	CW_Besar
'CW_Besar': 'trimf',	CW_Sedang
[-180 -15 -10]	CW_Kecil
'CW_Sedang': 'trimf',	Seimbang
[-15 -10 -5]	CCW_Kecil
'CW_Kecil': 'trimf',	CCW_Sedang
[-10 -5 0]	CCW_Besar
'Seimbang': 'trimf',	
[-2.5 0 2.5]	
'CCW_Kecil': 'trimf',	
[0 5 10]	
'CCW_Sedang': 'trimf',	
[5 10 15]	
'CCW_Besar': 'trimf',	
[10 15 180]	

Adapun sistem kontrol menggunakan fuzzy logic system yang dibuat sebagai berikut:

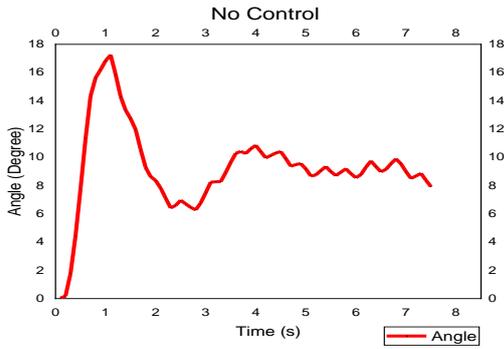


**Gambar 11. Diagram blok dengan Fuzzy Logic Control**

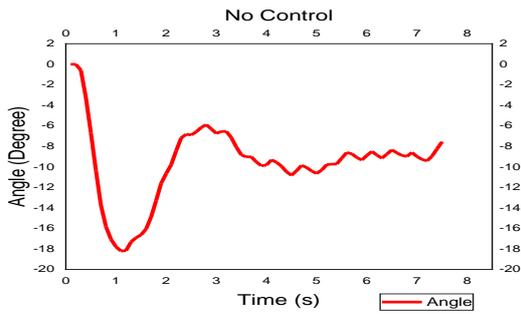
Gambar 11. menunjukkan Penambahan fuzzy logic control dilakukan sebelum input transducer 2 dan data yang masuk ke fuzzy logic control adalah output sudut yang terbaca pada sensor MPU 6050.

**4.3 Pengambilan data dan analisa**

Pengambilan data dan analisa dilakukan dengan cara mengambil hasil yang diperoleh dari Arduino UNO yang hasilnya diperoleh dari simulink yang sudah di rancang data yang didapat berupa masing-masing data dari pemodelan sistem kontrol yang telah dibuat yaitu grafik respon transien. Pada grafik respon gerak didapat nilai *Settle time*, *overshoot*, dan kestabilan sistem.

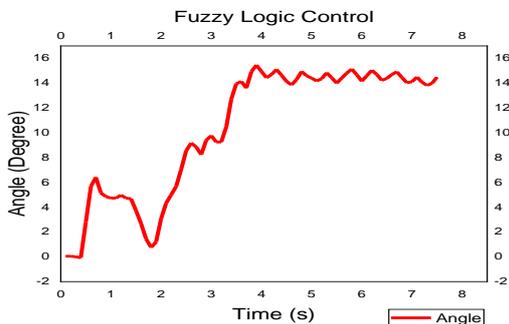


Gambar 12. Sinyal respon transient tanpa control kemiringan 15°

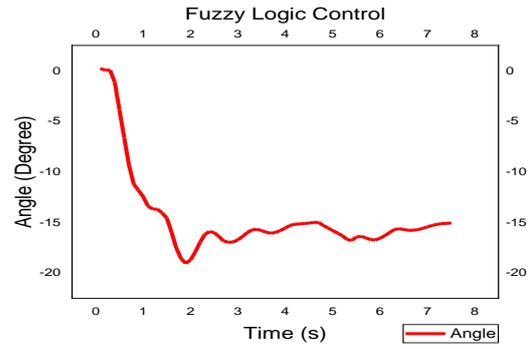


Gambar 13. Sinyal respon transient tanpa control kemiringan -15°

Gambar 12 dan gambar 13 menunjukkan bagaimana respon sinyal pada saat *segway* dimiringkan dengan kemiringan maksimal 15° ke depan dan -15° ke belakang. Disini diketahui kontrol tanpa fuzzy logic tidak ada kestabilan. Grafik diatas menunjukkan bahwa gerak motor DC sistem kontrol ini memiliki osilasi yang besar dan tidak stabil.



Gambar 14. Sinyal Respon Transient dengan Fuzzy Logic Control kemiringan 15°



Gambar 15. Sinyal Respon Transient dengan Fuzzy Logic Control kemiringan -15°

Diketahui dari tabel diatas hasil dari respon tanggapan sistem perancangan prototype *segway* dengan menggunakan *Fuzzy logic Control* dan tanpa kontrol.

### 5. Kesimpulan

Maximum Overshoot yang di dihasilkan oleh sistem kontrol ini yaitu pada kemiringan 15° sebesar 3 % dan pada kemiringan -15° sebesar 26.6% Error yang dihasilkan yaitu pada kemiringan 15° sebesar 4.7% dan pada kemiringan -15° sebesar 2.8% Lalu *Settle time* yang di dihasilkan yaitu pada kemiringan 15° sebesar 4 detik dan - 15° sebesar 2 detik.

### Daftar Pustaka

- [1] Y. R. G. Shirsath, M. Holkar, and M. Amle, 2015, *Designing the Self – Balancing Platform (Segway)*, Int. J. Sci. Eng. Technol. Res. (IJSETR), vol. 4, no. 9, pp. 3033–3038.
- [2] R. A. Saputra, A. Rusdinar, D. Ph, and C. Ekaputri, 2007, *Pengendalian motor satu roda dengan pid - fuzzy control one wheeled motor with pid - fuzzy*, vol. 4, no. 2, pp. 1588–1595.
- [3] B. Messner, D. Tilbury, R. Hill, and J. D. Taylor, 2011, *Control Tutorials for MATLAB and Simulink - Inverted Pendulum: System Modeling*, The University of Michigan.
- [4] B. Indra, E. Susanto, and C. Ekaputri, 2016, *Fuzzy Logic Controller Universitas Telkom Prototype of Two Wheels Self Balancing Vehicle Using Fuzzy Logic Controller*, vol. 3, no. 3, pp. 1–8.
- [5] R. Kumar, R. B. Singh, and J. Das, 2013, *Modeling and Simulation of Inverted Pendulum System Using Matlab: Overview*, Int. J. Mech. Prod.

Tabel 1. Hasil analisa data

No	Parameter	Sistem Kontrol tanpa fuzzy logic		Fuzzy Logic	
		15°	-15°	15°	-15°
1	Maximum overshoot (%)	21.3%	14.9%	3%	26.6%
2	Error (%)	37.86%	35.94%	4.7%	2.8%
3	Settle time (s)	Tidak tercapai	Tidak tercapai	4 detik	2 detik

Eng., no. 14, pp. 2320–2092.

- [6] S. Kwak and B.-J. Choi, 2015, *Design of Fuzzy Logic Control System for Segway Type Mobile Robots*, Int. J. Fuzzy Log. Intell. Syst., vol. 15, no. 2, pp. 126–131,.



**Dadang Yuda Saputra** menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, pada tahun 2021, Bidang konsentrasi yang diminati adalah rekayasa manufaktur.

Topik yang diangkat dalam tugas akhir/ skripsi adalah perancangan robotika berupa segway dengan sistem kontrol fuzzy logic.