

# BALANCING ROBOT BERODA DUA MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC BERBASIS MIKROKONTROLLER ARDUINO

Afief Putranto Pamungkas  
Fakultas Teknik Elektro, Universitas Dian Nuswantoro  
afief.putra@yahoo.co.id

## Abstrak

*Model transportasi dengan menggunakan dua roda dewasa ini sudah mulai diteliti, fokus dari penelitian yang telah dilakukan adalah bagaimana menjadikan robot beroda dua mampu menjaga keseimbangannya sendiri. Banyak metode kontrol yang digunakan untuk menentukan optimasi kendali yang baik sehingga didapatkan nilai respon yang baik antara pembacaan sensor dengan reaksi aktuator (motor). Model transportasi dengan dua roda yang sekarang sudah ada yaitu segway. Proyek akhir ini juga akan membuat alat yang sama dalam prinsip kerjanya, namun dengan ukuran yang berbeda. Alat (robot beroda dua) ini nantinya dibuat agar dapat menyeimbangkan dirinya sendiri sehingga tidak jatuh. Kedua roda robot dihubungkan dengan motor DC sebagai penggerak. Sistem kontrol yang diterapkan pada tugas akhir ini adalah fuzzy logic control. Tujuan pembuatan tugas akhir ini selain untuk pembelajaran tentang keseimbangan, juga merupakan penerapan metode fuzzy logic untuk sistem yang labil. Permasalahan yang ada disini adalah bagaimana membuat robot tetap stabil tegak lurus dengan permukaan bumi. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi kemiringan robot adalah IMU digital combo board 6 DOF yang di dalamnya terdapat sensor accelerometer ADXL345 dan gyroscope ITG3200. Dengan sistem kontrol fuzzy logic, robot mampu menjaga keseimbangan dan tetap stabil tegak lurus dengan permukaan bumi.*

**Keyword:** transportasi, robot beroda dua, keseimbangan, stabil, fuzzy logic

## Abstrak

*Transport models using two wheels these days have started investigation, the focus of the research that has been done is to make the two-wheeled robot is able to keep his balance. Many control method used to determine good control optimization to obtain a good response value between the sensor readings reaction actuator (motor). Transport model with two wheels that now there is a segway. This final project will also make the tool works the same in principle, but with different sizes. Tool (a two-wheeled robot) will later be made in order to rebalance itself so it does not fall. Both wheel robot is connected with the DC motor. The control system is implemented in this thesis is the fuzzy logic control. The purpose of this final project in addition to learning about balance, also the application of fuzzy logic method for unstable systems. The problems here is how to make the robot remains stable perpendicular to the surface of the earth. Sensors are used to detect the slope of the robot is a combo digital IMU 6 DOF board in which there ADXL345 accelerometer and gyroscope sensors ITG3200. With fuzzy logic control system, the robot is able to maintain balance and remain stable perpendicular to the surface of the earth.*

**Keyword:** transportation, two-wheeled robot, balance, stable, fuzzy logic

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penelitian dan pengembangan pertama tentang *robot* dimulai dari tahun 1940-an ketika Argonne National Laboratories di Oak Ridge, Amerika, memperkenalkan sebuah mekanisme *robotic* yang diberi nama *master-slave manipulator*. *Robot* tersebut dipakai untuk menangani material radioaktif. Kemudian di tahun 1950-an Unimation Incorporated memperkenalkan produk *robot* komersial pertama. Baru pada pertengahan tahun 1960-an produk *robot* dipakai dalam kegiatan industri. Karena aplikasi *robot* hampir tak dapat dipisahkan dengan kegiatan industri, maka muncul istilah *industrial robot* dan *robot manipulator*. Dewasa ini definisi *robot* industri sudah tidak sesuai lagi karena teknologi *mobile robot* sudah dipakai meluas

sejak awal 1980-an. Seiring itu pula muncul istilah *robot humanoid* (mirip manusia), *animaloid* (mirip binatang), dan sebagainya.

*Balancing robot* beroda dua adalah suatu *mobile robot* yang memiliki dua buah roda disisi kanan dan kirinya yang tidak bisa seimbang bila tidak dikontrol. Untuk menyeimbangkan *robot* beroda dua diperlukan suatu metode kontrol yang baik untuk mempertahankan posisi *robot* dalam keadaan tegak lurus terhadap permukaan bumi tanpa memerlukan pengendali lain dari luar. *Balancing Robot* ini juga telah dikembangkan menjadi salah satu model transportasi yang bernama *segway*.

Tugas Akhir ini adalah untuk mendesain dan membangun *balancing robot* beroda dua yang mampu menyeimbangkan dirinya sehingga tegak lurus terhadap permukaan bumi pada bidang datar. Pada Tugas Akhir ini digunakan mikrokontroler arduino, sensor *IMU digital combo board* (terdapat *accelerometer* dan *gyroscope*), serta kontrol fuzzy sebagai metode pengendali. Kontrol fuzzy digunakan untuk menentukan besarnya kecepatan motor DC sebagai penggerak, berdasarkan sudut kemiringan dari badan robot yang dibaca oleh sensor *IMU digital combo board*.

## 1.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam Tugas Akhir ini adalah mengimplementasikan kontrol fuzzy untuk *balancing robot* beroda dua.

## 1.3 Pembatasan Masalah

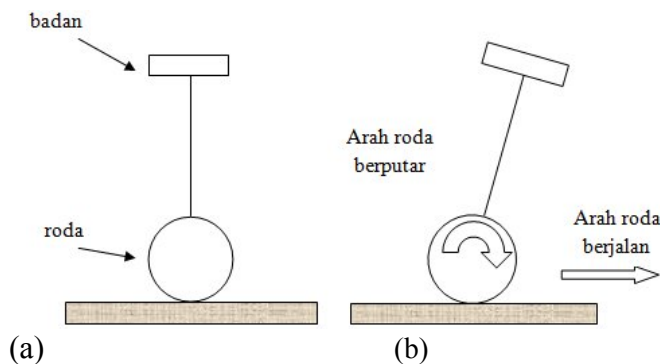
Batasan masalah pada penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Alat ini hanya dapat menyeimbangkan diri tegak lurus dengan permukaan bumi pada bidang datar.
2. Alat hanya dapat bergerak maju mundur untuk menyeimbangkan diri di bidang datar tanpa mengikuti garis atau jalur tertentu.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Balancing Robot*

*Balancing robot* beroda dua merupakan suatu *robot mobile* yang memiliki dua roda di kedua sisinya dan tidak akan seimbang tanpa sebuah metode kontrol yang baik. Saat *balancing robot* beroda dua condong ke depan atau miring ke kanan pada Gambar 1, maka yang perlu dilakukan adalah motor akan memutar searah jarum jam sehingga *balancing robot* beroda dua akan berputar ke arah depan [2]. Gaya yang digunakan untuk menyeimbangkan dihasilkan dari putaran roda.



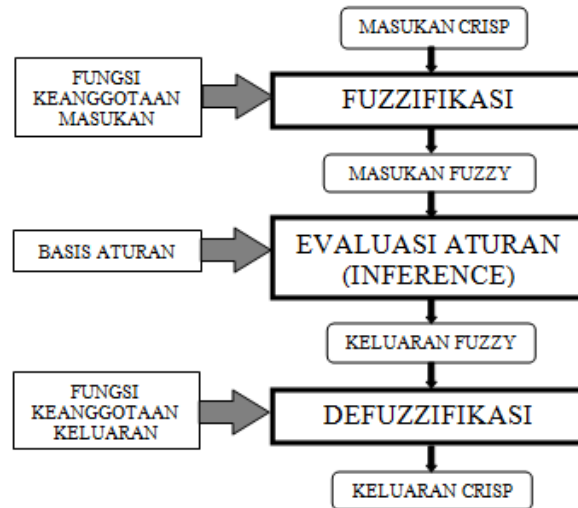
Gambar 1. *Balancing Robot* Beroda Dua Menyeimbangkan Diri

(a) Posisi Robot Seimbang

(b) Arah Roda Berjalan dan Berputar Ketika Posisi Miring ke Depan

## 2.2 Logika Fuzzy

Logika Fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output, mempunyai nilai kontinyu. Fuzzy dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran. Oleh sebab itu sesuatu dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama [3]. Yang harus ada dalam logika fuzzy adalah fuzzifikasi, evaluasi aturan (inference) berdasarkan rule base, dan defuzzifikasi. Jika digambarkan strukturnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Dasar Pengendali Fuzzy

## 2.3 Sensor IMU *Digital Combo Board*

IMU (*Inertial Measurement Unit*) adalah perangkat elektronika yang mampu mengukur dan melaporkan kecepatan, orientasi, dan gaya gravitasi menggunakan kombinasi dari accelerometer dan gyroscope. Adapun sensor-sensor yang akan digunakan untuk IMU Digital Combo Board ini adalah ADXL345 untuk 3-axis accelerometer dan ITG-3200 untuk 3-axis gyroscope. Sensor IMU digital combo board ini berkomunikasi melalui I<sup>2</sup>C (Inter Integrated Circuit). I<sup>2</sup>C adalah standar komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran yang didisain khusus untuk mengirim maupun menerima data. Sistem I<sup>2</sup>C terdiri dari saluran SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*) yang membawa informasi data antara I<sup>2</sup>C dengan pengontrolnya. Sensor ini dapat bekerja pada tegangan 2,1 Volt sampai 3,6 Volt, tetapi dianjurkan untuk dicatu dengan tegangan 3,3Volt. Bentuk fisik Sensor IMU Digital Combo Board dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Bentuk fisik Sensor IMU Digital Combo Board

*Accelerometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (vibrasi), dan mengukur percepatan akibat gravitasi. Sensor *accelerometer* mengukur percepatan akibat gerakan benda yang melekat padanya. Pendeteksian gerakan berdasarkan pada 3 sumbu yaitu kanan-kiri, atas-bawah dan depan-belakang.

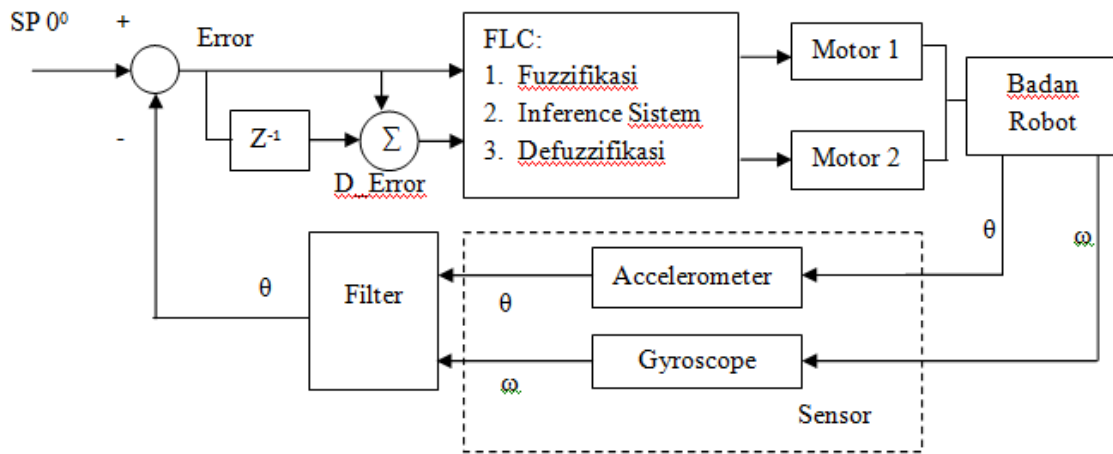
Sensor *Gyroscope* adalah sensor yang dapat membaca kecepatan sudut yang dinamis. Prinsip kerja dari gyroscope ini adalah pada saat gyroscope berotasi maka gyroscope akan memiliki nilai keluaran.

Dengan menggunakan kombinasi accelerometer dan gyroscope pada suatu sistem maka accelerometer dapat memberikan pengukuran sudut saat sistem berada pada kondisi diam. Sedangkan pada saat sistem berotasi accelerometer tidak bisa bekerja secara maksimal karena memiliki respon yang lambat. Kelemahan inilah yang dapat diatasi oleh gyroscope karena gyroscope dapat membaca kecepatan sudut yang dinamis. Namun gyroscope juga memiliki kelemahan yaitu proses perpindahan kecepatan sudut dalam jangka waktu yang panjang menjadi tidak akurat karena ada efek *bias* yang dihasilkan oleh gyroscope.

### III. PERANCANGAN ALAT

#### 3.1 Diagram Blok Sistem

Tahap awal perancangan *balancing robot* ini diperlukan gambaran awal tentang bagaimana sistem kerja dari robot. Sistem kerja dari balancing robot ini menggunakan *close loop*, sebab diperlukan adanya umpan balik untuk mengontrol *output* dari sistem. Secara umum diagram blok *balancing robot* beroda dua dapat digambarkan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Blok diagram perancangan *fuzzy logic* pada *balancing robot*

#### 3.2 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

##### a. Perancangan Rangkaian Sistem Minimum Arduino

Sistem minimum dalam mikrokontroler adalah rangkaian elektronik minimum yang diperlukan untuk beroperasinya IC mikrokontroler. Sistem minimum ini kemudian bisa dihubungkan dengan rangkaian lain untuk menjalankan rangkaian tertentu. Arduino UNO R3 dapat dicatu dengan tegangan dari koneksi USB atau dengan catu daya eksternal yang berkisar antara 6 Volt – 20 Volt, tetapi disarankan dengan tegangan antara 7 Volt – 12 Volt. Jika lebih dari 12 Volt dikhawatirkan regulator akan cepat panas dan akan merusak *board* arduino UNO R3, tapi jika kurang dari 7 Volt kemungkinan tegangan di pin 5 Volt akan kurang dari 5 Volt.

##### Keterangan Pin Arduino yang akan digunakan

- Pin 3.3 Volt : digunakan untuk *input* 3.3 Volt sensor IMU

- Pin 5 Volt : digunakan untuk *input* 5 Volt sensor IMU dan LCD
- Pin GND : digunakan untuk *grounding*
- Pin Analog A4 : digunakan untuk *input* SDA sensor IMU
- Pin Analog A5 : digunakan untuk *input* SCL sensor IMU
- Pin Digital 4 : digunakan untuk *direction* motor DC
- Pin Digital 5 : digunakan untuk PWM motor DC
- Pin Digital 6 : digunakan untuk PWM motor DC
- Pin Digital 7 : digunakan untuk *direction* motor DC

**b. Perancangan Sensor IMU *Digital Combo Board***

Pada perancangan sensor IMU Digital Combo Board ini, kaki 3,3 Volt dihubungkan ke 3,3 Volt mikrokontroler arduino. Kaki Ground dihubungkan ke ground mikrokontroler. Sedangkan kaki SDA dihubungkan ke analog A4 mikrokontroler. Kaki SCL sendiri dihubungkan ke analog A5 pada mikrokontroler arduino.

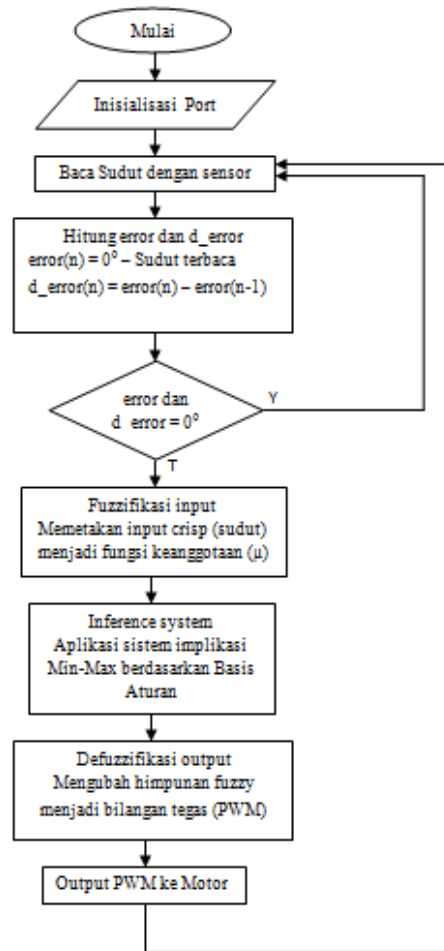
**c. Driver Motor DC**

Driver motor DC yang dipakai adalah L298 *Dual H-Bridge Driver*. Tegangan kerja di *driver* motor DC ini bisa mencapai 46 Volt. Di *board driver* motor ini terdapat *Enable 1* (En1) dan *Enable 2* (En2) untuk mengatur putaran PWM motor. Untuk mengatur arah putar dari motor terdapat *port in0*, *in1*, *in2*, dan *in3*.

**3.3 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)**

Perancangan perangkat lunak dibuat agar alat dapat bekerja dengan baik. Pada penelitian ini, bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa arduino. Hal ini dikarenakan mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler arduino UNO R3.

Untuk membuat program yang sesuai dengan tujuan penelitian, maka terlebih dahulu dibuat rancangan program dalam suatu diagram alir (*flow chart*) dari program yang dibuat agar alat bekerja berdasarkan program yang diinginkan. Diagram alir perancangan software ditunjukkan pada Gambar 5.



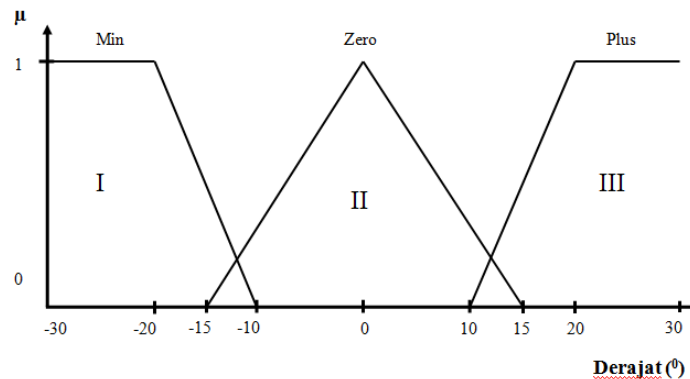
Gambar 5. Diagram Alir Ssitem

### a. Pemodelan Fuzzy

Fuzzifikasi adalah proses pemetaan input crisp ke dalam himpunan-himpunan fuzzy yang disajikan dalam bentuk fungsi keanggotaan. Tujuan dari fuzzifikasi adalah mendapatkan derajat keanggotaan dari hasil pemetaan input crisp kedalam fungsi keanggotaan yang bersesuaian. Dalam tugas akhir ini fungsi keanggotaan dibagi menjadi tiga yaitu:

#### 1. Fungsi keanggotaan input (*error*)

Nilai *error* didapat dari nilai sudut yang terbaca oleh sensor dikurangi *setpoint* yang diinginkan ( $0^0$ ).

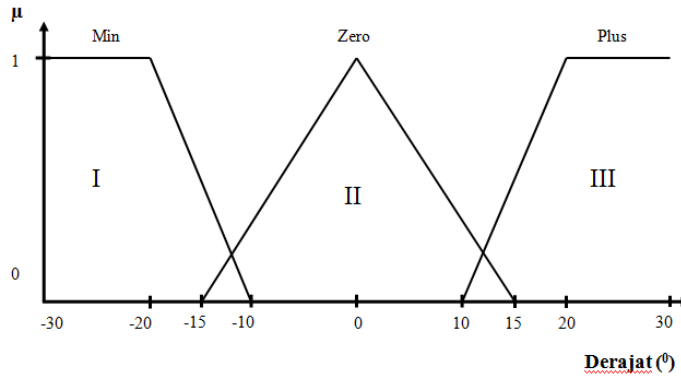


Gambar 6. Fungsi keanggotan error dalam derajat ( $^0$ )

Pada Gambar 6 menunjukkan fungsi keanggotaan *error* mempunyai tiga *membership function* yaitu min pada daerah I, Zero pada daerah II, dan plus pada daerah III.

2. Fungsi keanggotaan input ( $d\_error / \Delta error$ )

Nilai  $d\_error$  didapat dari nilai *error* sekarang dikurangi dengan nilai *error* sebelumnya.

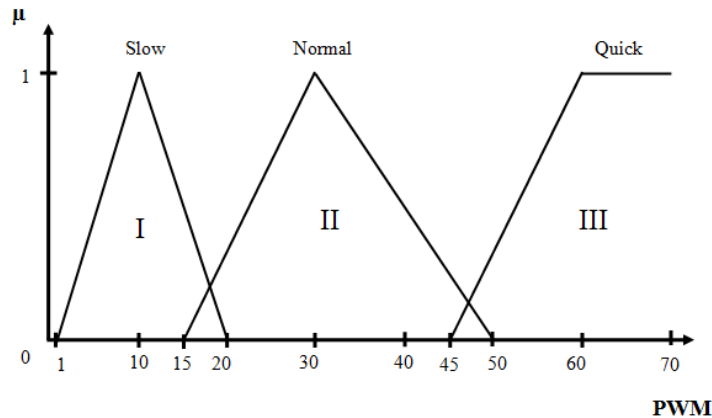


Gambar 7. Fungsi keanggotaan  $d\_error$  dalam derajat ( $^{\circ}$ )

Pada Gambar 7 menunjukkan fungsi keanggotaan  $d\_error$  mempunyai tiga *membership function* yaitu min pada daerah I, Zero pada daerah II, dan plus pada daerah III.

3. Fungsi keanggotaan output (PWM)

Nilai keanggotaan output adalah besaran PWM yang dipakai untuk menggerakkan motor DC.



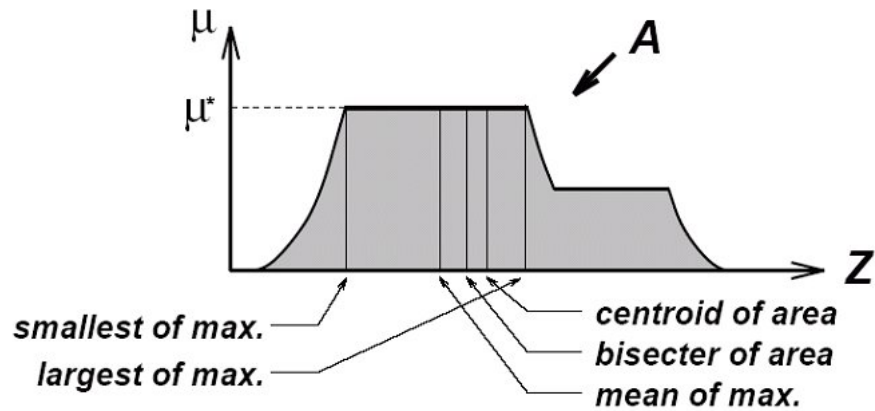
Gambar 8. Fungsi keanggotaan output dalam PWM

Pada Gambar 8 menunjukkan fungsi keanggotaan output mempunyai tiga *member function* yaitu slow pada daerah I, normal pada daerah II, dan quick pada daerah III.

Proses penentuan *membership function* output yaitu dengan cara *trial and error*.

d_error	error			
	Output PWM	Min	Zero	Plus
Min	Quick	Slow	Normal	
Zero	Slow	Slow	Normal	
Plus	Normal	Normal	Quick	

Proses terakhir yaitu defuzzifikasi, yaitu mengubah himpunan *fuzzy* keluaran menjadi keluaran tegas (*crisp*). Ada beberapa metode defuzzifikasi pada komposisi aturan mamdani, diantaranya yaitu metode COA, bisector, MOM, LOM, dan SOM yang dapat dilihat pada Gambar 9.



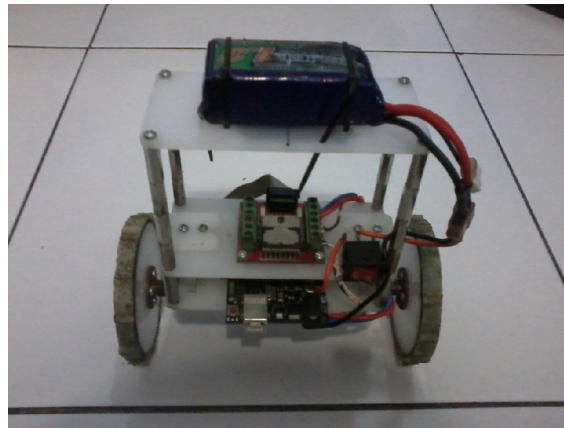
Gambar 9. Proses Defuzzifikasi

Pada balancing robot beroda dua ini akan digunakan metode defuzzifikasi MOM (Mean of Max).

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Hasil Perancangan Alat

Setelah dirancang baik *hardware* maupun *software*, maka didapat hasil robot seperti Gambar 10.



Gambar 10. *Balancing Robot* Beroda Dua

##### 4.2 Pengujian Sensor Accelerometer

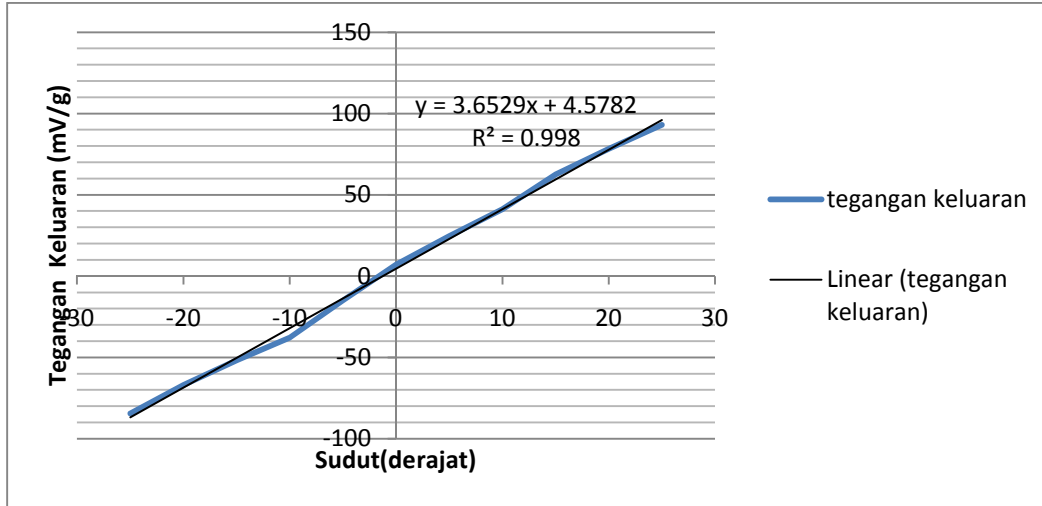
Jika diambil rata-rata pengukuran pada sumbu X, maka tegangan keluaran sensor accelerometer dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Tegangan Keluaran Sensor

Kemiringan Sudut( <sup>0</sup> )	Tegangan Keluaran sensor (mV/g)
25	93.12
20	78.24
15	62.52
10	41.04
5	24.52
0	7.08
-5	-15.04
-10	-37.88
-15	-51.84
-20	-66.92
-25	-84.48



Secara grafik, tegangan keluaran rata-rata Akselerasi dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Tegangan Keluaran rata-rata Akselerasi

Dari Gambar 11 dapat disimpulkan bahwa perubahan tegangan keluaran pada sensor accelerometer hampir linier terhadap perubahan sudut. Hal ini bisa terjadi karena proses pengambilan data hanya menggunakan busur derajat dan proses menentukan sudut juga dilakukan secara visual.

#### 4.3 Pengujian Balancing Robot

Pengujian *balancing robot* dilakukan sebanyak sepuluh kali tiap percobaan dengan sudut awal berbeda-beda yakni  $0^0$ ,  $10^0$ ,  $-10^0$ ,  $20^0$ ,  $-20^0$ ,  $30^0$ , dan  $-30^0$ . Pengujian alat dilakukan di atas bidang datar dan beralaskan karpet. Sumber tegangan saat awal percobaan yakni 11,6 Volt. Balancing robot ini dapat menyeimbangkan dirinya dengan baik pada sudut awal  $0^0$ ,  $10^0$ ,  $-10^0$ ,  $20^0$ , dan  $-20^0$ . Jadi dapat disimpulkan bahwa sudut maksimal balancing robot yaitu antara  $-20^0$  hingga  $20^0$ . Jika balancing robot miring di atas  $-20^0$  dan  $20^0$ , robot sering gagal untuk menyeimbangkan diri.

### V. PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dilakukan implementasi kontrol *fuzzy* berbasis mikrokontroler untuk *balancing robot* beroda dua.
2. Tingkat keberhasilan balancing robot mencapai 100% dengan batas kemiringan sudut antara  $-20^0$  hingga  $20^0$ .

#### 5.2 Saran

Untuk pengembangan sistem yang lebih lanjut, terdapat saran yaitu:

1. Dapat digunakan metode kontrol lain seperti JST (Jaringan Syaraf Tiruan) atau metode lainnya untuk mengontrol keseimbangan robot terhadap permukaan bumi di bidang datar.
2. Dapat dikembangkan dengan menambah *remote control* atau wireless yang dihubungkan dengan android sebagai pengontrol robot.
3. Dapat diimplementasikan pada robot *line follower* ataupun robot *wall follower*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pitowarno, E. 2006. Robotika Disain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan. Yogyakarta: Andi.
- [2] Laksana, A. 2011. Balancing Robot Roda Dua Menggunakan Metode Kendali Proporsional Integral. Seminar Makalah Tugas Akhir Universitas Diponegoro. Semarang.
- [3] Kusumadewi, S., dan Purnomo, H. 2004. Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [4] Sutikno. Perbandingan Metode Defuzzifikasi Aturan Mamdani Pada Sistem Kendali Logika Fuzzy (Studi Kasus Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC). Makalah Seminar Tugas Akhir Universitas Diponegoro. Semarang.
- [5] Wardana, M. 2011. Prinsip Kerja Arus Motor Searah (DC). Dari: <http://meriwardana.blogspot.com/2011/11/prinsip-kerja-motor-arus-searah-dc.html>. [Diakses terakhir: 12 Oktober 2012].
- [6] Prayogi, W.S. 2009. Sistem Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan Logika Fuzzy. Tugas Akhir Universitas Dian Nuswantoro. Semarang.
- [7] Blocher, R., 2004, *Dasar Elektronika*, Yogyakarta.
- [8] Vidi, RA. 2011. Aplikasi Sensor Accelerometer Pada Deteksi Posisi. Seminar Makalah Tugas Akhir Universitas Diponegoro. Semarang.
- [9] Wibowo, B.C., dan Iqbal. M. 2013. Implementasi Metode Logika Fuzzy pada Kontrol Keseimbangan Robot Mobil Beroda Dua. Jurnal Universitas Muria. Kudus.
- [10] Wiryadinata, R. 2009. Prinsip Kerja Accelerometer. Dari: <http://wiryadinata.web.id/>. [Diakses terakhir: 12 Oktober 2012].