

DESAIN DAN IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC CONTROL PADA BALANCING ROBOT

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF FUZZY LOGIC CONTROL IN BALANCING ROBOT

Irfandri Zulkarnaini¹, Agung Nugroho Jati ST., MT.,² Unang Sunarya ST., MT.³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹Irfandrizulkarnaini@gmail.com, ²agungnj@telkomuniversity.ac.id, ³unangsunarya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Balancing robot merupakan pengembangan dari konsep *inverted pendulum*. *Balancing robot* merupakan suatu mobile robot beroda dua yang tidak akan dapat berjalan seimbang tanpa adanya sistem kontrol yang baik. Dalam menyeimbangkan *balancing robot* dibutuhkan suatu metode kontrol yang baik agar robot dapat menyeimbangkan dirinya sendiri tanpa ada gaya dari luar. Pada penulisan Tugas Akhir ini akan dirancang suatu *balancing robot* dengan metoda *fuzzy logic control*. *Kontroller fuzzy logic* akan ditanamkan pada mikrokontroler arduino mega sebagai pengendali keseimbangan. Pada perancangan *balancing robot* ini menggunakan sebuah IMU 3-axis accelerometer dan 3-axis gyroscope sebagai nilai input fuzzy, dan mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560. Dari data pengujian yang telah dilakukan, terlihat bahwa data perhitungan dari output sistem *fuzzy logic* masih terdapat error antara 0-7% yang disebabkan oleh beberapa parameter seperti perhitungan manual yang kurang teliti, proses dari fuzzyfikasi sistem yang bersifat tidak pasti. Performansi dari sistem robot *balancing robot* menggunakan metode *fuzzy logic* dipengaruhi oleh beberapa parameter, seperti, besar nilai dan bentuk fungsi keanggotaan masukan dan keluaran sistem, dan *rule-inference* yang ditanamkan pada sistem.

Kata Kunci : *balancing robot, accelerometer, gyroscope, fuzzy logic control*

Abstract

Balancing robot is the development of the concept of *inverted pendulum*. *Balancing robot* is a two-wheeled mobile robot which will not be able to walk by without a good control system. In balancing *balancing robot* requires a good control method so that the robot can balance itself without any outside force. At this final project will be designed a *balancing robot* with *fuzzy logic control* method. *Fuzzy logic controller* will be embedded in the microcontroller arduino mega as controlling balance. In designing this *balancing robot* using an IMU 3-axis accelerometer and 3-axis gyroscope as fuzzy input values, and the microcontroller used is Arduino Mega 2560. From the test data that has been done, it appears that the data calculation of output fuzzy logic systems there are between 0-7% error caused by several parameters such as manual calculations that are less rigorous, the process of fuzzyfikasi systems that are uncertain. The performance of the robot system *balancing robot* using *fuzzy logic* dipengaruhi by several parameters, such as, great value and shape of the membership function input and output systems, and *rule-inference* is embedded in the system.

Keywords: *Balancing Robot, Accelerometer, Gyroscope, Fuzzy logic control*

1. Pendahuluan

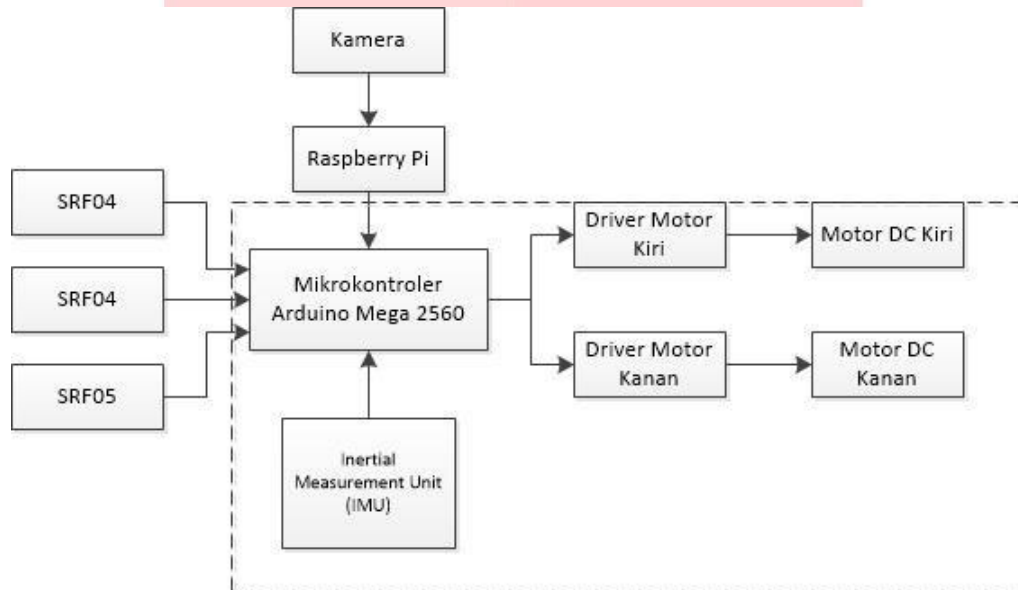
Dunia robotika semakin berkembang dengan sangat pesat dari hari ke hari. Perkembangan dalam dunia robotika juga berdampak dalam kehidupan manusia. Dengan perkembangan teknologi robotika sangat mempengaruhi kinerja pada dunia industri. Teknologi robotika juga merambah pada kehidupan manusia sendiri baik itu dari hobi, pendidikan, hiburan maupun riset-riset pada bidang robotika. Banyak cara yang dapat digunakan untuk menambah kecerdasan robot, salah satunya dengan cara menambahkan sensor-sensor pada robot dan metoda kontrol pada robot. Salah satu contoh penerapannya bisa dilakukan pada *balancing robot* roda dua.

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini dilakukan perancangan dan implementasi *balancing robot* roda dua yang dapat menyeimbangkan dirinya sendiri agar dapat tetap berdiri tegak lurus terhadap bidang datar tanpa bantuan

kendali dari luar. Dalam perancangan tugas akhir ini menggunakan mikrokontroler arduino mega, sensor IMU yang terdiri dari 3-axis *gyroscope* dan 3-axis *accelerometer*, serta *fuzzy logic control* sebagai metoda pengendali robot.

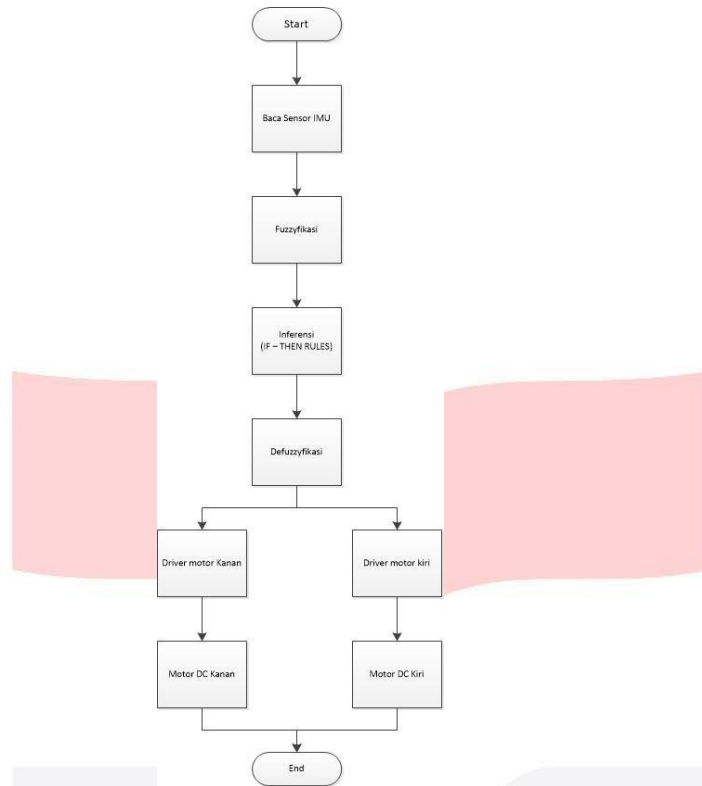
2. Perancangan

Balancing robot akan dirancang dengan menggunakan mikrokontroler arduino mega. Untuk mengetahui kemiringan sudut pada robot maka digunakan sensor IMU untuk mengetahui sudut kemiringan dari robot. Nilai-nilai yang dihasilkan oleh sensor tersebut yang menjadi nilai input *fuzzy*. Setelah melalui proses tahap *fuzzifikasi*, *fuzzy rule interference*, dan *deffuzifikasi* yang ditanamkan pada mikrokontroler Arduino Mega 2560, maka mikrokontroler memberikan output *fuzzy* pada driver motor berupa nilai PWM. Kemudian driver motor dapat menggerakkan motor DC, lalu motor DC dapat menggerakkan *balancing robot* sesuai perintah atau output yang dihasilkan oleh kontroler. Seperti yang terdapat pada blok digram dibawah ini.



Gambar 1 Blok Diagram Sistem

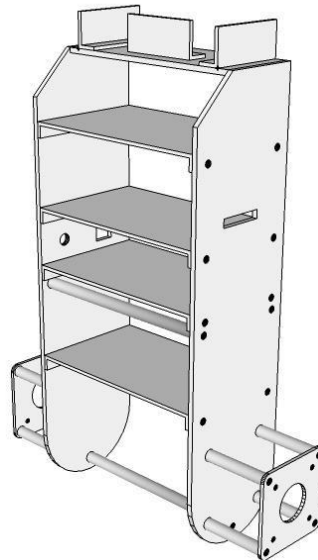
Dengan menggunakan logika *fuzzy* akan dirancang suatu *balancing robot* yang dapat menyeimbangkan dirinya sendiri dan melaksanakan tugas yang telah diberikan. Nilai input akan didapatkan dari bacaan sensor IMU. Setelah itu nilai input ini akan diproses untuk mendapatkan nilai keluaran yang akan menentukan robot akan menyeimbangkan dirinya ke sudut mana. Proses yang pertama kali dilakukan adalah merubah nilai input menjadi nilai *fuzzy*, proses ini disebut *fuzzifikasi*. Setelah mendapatkan nilai *fuzzy* dan dikelompokkan ke dalam fungsi keanggotaan maka dapat disusun suatu *rules* atau aturan *fuzzy*. Hasil dari aturan yang akan dibentuk inilah yang menentukan kondisi apakah yang harus dilakukan oleh robot. Metode yang digunakan adalah metode Sugeno. Seperti flow chart dibawah ini.



Gambar 2. Flowchart sistem

a) Perancangan Mekanika

Pada perancangan mekanika *balancing robot* menggunakan bahan acrylic yang mempunyai dimensi tinggi 265mm dan lebar 120mm, terdapat 4 base pada mekanik robot, dengan base yang paling bawah untuk beban yang paling berat dikarenakan untuk menjaga keseimbangan dari *balancing robot* tersebut. Base yang kedua terdapat arduino mega 2560, base ketiga akan diletakkan raspbery pi tipe b, dan base yang paling atas diletakkan beban yang paling ringan, yaitu driver motor dc



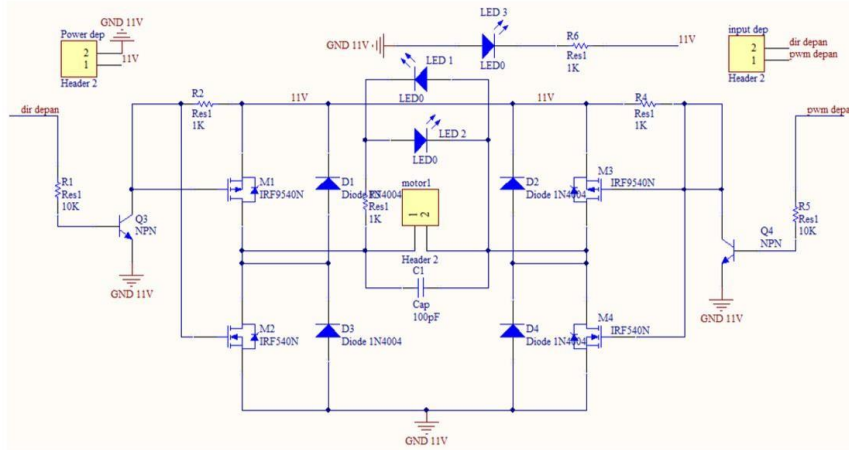
Gambar 3 Robot Tampak Samping

Sistem gerak pada robot ini menggunakan roda biasa yang terbuat dari bahan hard nylon. Dengan menggunakan dua buah roda dan masing-masing menggunakan satu buah motor dc 12V. Daerah kerja robot dibatasi, robot hanya dapat dijalankan pada bidang yang datar atau lantai yang datar.

b) Perancangan Elektronika

Motor driver adalah rangkaian penghubung antara motor DC dengan kontroler. Digunakan rangkaian *driver motor* karena arus yang dikeluarkan oleh mikrokontroler terlalu lemah atau kecil untuk menggerakkan motor DC. Rangkaian *motor driver* ini sendiri dilengkapi dengan fungsi untuk menentukan kecepatan putar motor dan arah putar motor DC.

Motor driver yang digunakan pada robot ini menggunakan rangkaian yang terdiri dari mosfet tipe P-Channel seri IRF540 dan mosfet tipe N-Channel seri IRF9540. Berikut skematik dari *motor driver* yang digunakan pada robot ini.

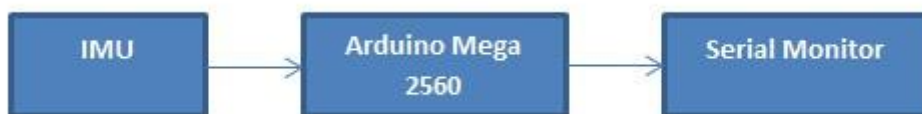


Gambar 4 Skematik Motor Driver

3. Pembahasan

a) Pengujian IMU

Tujuan dari pengujian sensor IMU ini adalah untuk mengetahui kestabilan dan linearitas data sudut kemiringan dari pembacaan sensor. Berikut merupakan diagram blok dari rangkaian alat yang digunakan untuk menguji sensor IMU.



Gambar 3 digram pengujian IMU

Pengujian dilakukan dengan cara melakukan pengukuran terhadap kemiringan sudut antara posisi robot yang tegak lurus dengan pusat bumi secara manual. Kemudian dibandingkan dengan bacaan dari sensor MPU6050 yang ditampilkan pada serial monitor.

Pada serial monitor ditampilkan data kemiringan sudut yang diperoleh dari sensor, semakin dekat dengan permukaan lantai posisi badan robot, maka semakin besar data yang dihasilkan oleh sensor. Tabel dibawah ini merupakan data yang diperoleh dari sensor IMU.

NO	Sudut aktual (busur derajat)	Sudut keluaran sensor IMU	Error
1	-90°	-89,44°	0,56
2	-80°	-79,61°	0,39
3	-70°	-69,23°	0,77
4	-60°	-60,14°	0,14
5	-50°	-49,18°	0,82
6	-40°	-40,23°	0,23
7	-30°	-29,34°	0,66
8	-20°	-19,37°	0,63
9	-10°	-9,17°	0,83
10	0°	0,11°	0,11
11	10°	9,54°	0,46
12	20°	20,91°	0,91
13	30°	30,36°	0,36
14	40°	39,82°	0,18
15	50°	49,31°	0,69
16	60°	59,85°	0,15
17	70°	69,34°	0,66
18	80°	80,83°	0,83
19	90°	89,48°	0,52

Dari data yang diperoleh pada hasil pengujian sensor IMU di atas dapat disimpulkan bahwa masih ada error yang dihasilkan pada pembacaan sensor. Hal tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya pengukuran yang kurang tepat, pembulatan pecahan dalam pemrograman, dan noise yang dihasilkan oleh sensor tersebut.

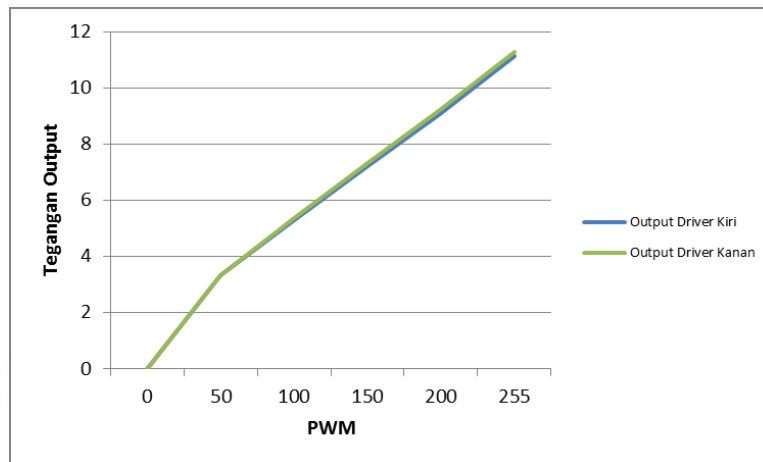
b) Pengujian *Driver motor*

Pengujian *driver motor* dilakukan dengan cara memberikan perintah direksi maju dan memberikan nilai PWM pada masukan *driver motor*. Output *driver motor* diukur menggunakan multimeter digital. Pada pengujian ini digunakan PWM 8 bit dengan nilai 0-255. Nilai 255 merepresentasikan nilai maksimum dari tegangan input pada *driver motor* yaitu sebesar 12 dan nilai volt 5 volt pada mikrokontroler. Setelah didapatkan nilai output dari *driver motor* maka nilai tersebut akan dibandingkan dengan nilai sebenarnya menggunakan perhitungan manual berdasarkan rumus 1 dan 2.

$$V_0 = \frac{V}{255} \cdot V_1 \quad (1)$$

$$V_0 = \frac{V}{100} \cdot V_1 \quad (2)$$

Pada pengujian ini akan dibandingkan tegangan output dari *driver motor* dengan tegangan output yang seharusnya menurut perhitungan secara manual sesuai dengan rumus di atas. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 5 Grafik Pengujian Driver motor

Dari Gambar 5 dapat diamati linieritas dari nilai input PWM terhadap output dari driver motor dc. Garis lurus menunjukkan input PWM berbanding lurus dengan tegangan output driver motor dc. Dengan melihat grafik dapat disimpulkan bahwa driver motor dapat bekerja dengan baik, namun terdapat error yang dikarenakan ketidak idealan masing-masing komponen driver motor dan duty cycle% tidak akurat 100% dari keluaran mikrokontroler yang digunakan.

Arah	PWM	Duty Cycle (%)	Vin	Kiri			Kanan		
				Output Driver	Perhitungan	Selisih Error	Output Driver	Perhitungan	Selisih Error
Maju	0	0%	11.7	0	0	0	0	0	0
	50	19.61%	11.7	2.83	2.29	0.54	2.83	2.29	0.54
	100	39.22%	11.7	4.95	4.58	0.37	4.88	4.58	0.3
	150	58.82%	11.7	7.24	6.88	0.36	7.16	6.88	0.28
	200	78.43%	11.7	9.69	9.17	0.52	9.61	9.17	0.44
	255	100%	11.7	11.38	11.7	0.32	11.36	11.7	0.34
Mundur	0	0%	11.7	0	0	0	0	0	0
	50	19.61%	11.7	2.83	2.29	0.54	2.83	2.29	0.54
	100	39.22%	11.7	4.95	4.58	0.37	4.88	4.58	0.3
	150	58.82%	11.7	7.24	6.88	0.36	7.16	6.88	0.28
	200	78.43%	11.7	9.69	9.17	0.52	9.61	9.17	0.44
	255	100%	11.7	11.38	11.7	0.32	11.36	11.7	0.34

c) Pengujian Fuzzy Logic

Pengujian terhadap software ini menggunakan program fuzzy logic yang telah dirancang dengan menggunakan perancangan pada Bab III. Dimana yang fungsinya hanya untuk mengetahui apakah program yang telah dibuat dapat berjalan dengan semestinya.

Beberapa parameter yang dibutuhkan untuk analisis bahwa program dapat berjalan dengan benar dapat secara langsung ditampilkan pada serial monitor yang ada pada Arduino mega 2560.

Berikut ini merupakan beberapa contoh data parameter yang diambil pada robot yang nantinya data tersebut dianalisa apakah sama dengan perhitungan manual atau tidak.

Percobaan	Data Masukan		Hasil Defuzzyfikasi Kanan		Error	Hasil Defuzzyfikasi Kiri		Error
	Error	Δ error	Output Sistem	Perhitungan		Output Sistem	Perhitungan	
1	-21.69	0.26	100	100	0	100	100	0
2	0.99	0.9	50	46.5	3.5	50	46.5	3.5
3	-13.38	-2.89	92	87.34	4.66	92	87.34	4.66
4	-5.73	1.71	64	63.16	0.84	64	63.16	0.84
5	11.63	0.43	65	60.82	4.18	65	60.82	4.18
6	-18.62	2.46	61	60.16	0.84	61	60.16	0.84
7	2.44	7.77	57	53.3	3.7	57	53.3	3.7
8	5.47	9.89	76	69.18	6.82	76	69.18	6.82
9	-9.16	-0.9	69	75.4	6.4	69	75.4	6.4
10	8.03	13.03	92	99.615	7.615	92	99.615	7.615

Setelah melihat hasil tabel perbandingan diatas (tabel 4.3), didapatkan bahwa program fuzzy logic yang ditanamkan sesuai dengan apa yang diharapkan. Persentase error yang dihasilkan bervariasi, paling kecil adalah 0% dan error paling besar sekitar 7%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem fuzzy logic ini berjalan dengan baik, hal itu dapat dilihat dari nilai keluaran sistem yang tidak begitu berbeda jauh dengan nilai perhitungan secara manual. Walaupun terdapat error yang cukup besar dari perbandingan output sistem dan perhitungan manual, akantetapi masih dapat ditoleransi karena variabel linguistik keluaran sistem sesuai dengan rule yang telah dirancang. Adapun masalah yang mengakibatkan adanya error adalah keterbatasan dalam perhitungan manual, yakni adanya pembulatan nilai dalam perhitungan serta kurangnya ketelitian saat melakukan perhitungan manual, serta karakteristik dari fuzzy itu sendiri yang memproses nilai input tidak pasti pada proses fuzzyfikasi.

4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil penelitian Tugas Akhir penulis adalah sebagai berikut :

1. Robot dapat berdiri seimbang ketika sudut nya kecil pada range $0^\circ - 10^\circ$, dan pada saat sudut kemiringan robot besar respon motor untuk menyeimbangkan badan robot masih agak lambat.
2. Telah dapat mengintegrasikan fuzzy logic control pada balancing robot, walaupun masih terdapat error sebesar 0 – 7%, akan tetapi besarnya error tersebut masih dapat ditoleransi karena variabel linguistik output sistem masih sesuai dengan apa yang diinginkan.
3. Dapat mengintegrasikan semua bagian, driver motor, motor dc, IMU, mikrokontroler, dan fuzzy logic control menjadi satu sistem yang dapat berjalan dengan baik.

DaftarPustaka

- [1] An, Wei. 2013. *Simulation and Control of a Two-wheeled Self-Balancing Robot*. International conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO) : Shenzen, China.
- [2] Arduino. *Arduino Board Mega*. <http://www.arduino.cc/en/Main/> (diakses pada tanggal 24 Juni 2015).
- [3] Bageant, Maia. R. 2011. *Balancing a Two-Wheeled Segway Robot*. Massachusetts Institute of Technology.
- [4] Dr.. Budiharto, Widodo. 2013. *Robotika Modern Teori dan Implementasi*. Penerbit Andi : Yogyakarta.
- [5] Goher, K. M., Tokhi, M. O., Siddique, N.H. 2011. *Dynamic Modeling and Control of a Two-Wheeled Robotic Vehicle with a Virtual Payload*. ARPN Journal of Engineering and Sciences.
- [6] Huantam, P. 2012. *Controller Design Base on Servo State Feddback for Two-Wheeled Balancing Robot*. Proceedings of International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists 2012 : Hong Kong.
- [7] Khoswanto, Handry. 2011. *Kesetimbangan Robot Beroda Dua Menggunakan Metoda Fuzzy Logic*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
- [8] Laksana, Andra. 2011. *Balancing Robot Beroda Dua Menggunakan Metode Kendali Proporsional Integral*. Universitas Diponegoro : Semarang.
- [9] Martin, Wiliam. 2009. *Autonomous Robot Obstacle Avoidance Using A Fuzzy Logic Control Scheme*.
- [10] Pamungkas, Alif Putranto. 2011. *Balancing Robot Beroda Dua Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis Mikrokontroler Arduino*. Universitas Dian Nuswantro.
- [11] Pancev, I GD Darkov. 2012. *Implementasi Penggunaan Sensor Accelerometer ADXL335 Pada QuadcopterRobot Berbasis Atmega32*. Universitas Udayana : Bali.
- [12] Sundin, Christian., Thorstensson, Filip. 2012. *Design and Construction of a Balancing Robot*. Chalmers University of Technology : Sweden.
- [13] Sutojo, E. S.Si., M.Kom., Mulyanto, Edi. S.Si., M.Kom., Suhartono, Vincent Dr. 2011. *Kecerdasan Buatan*. Penerbit ANDI : Yogyakarta.
- [14] Wiratran, Helmi. 2011. *Perancangan dan Implementasi Embedded Fuzzy Logic Controller untuk Pengaturan Kestabilan Gerak Robot Segway Mini*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.