

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL POSISI BOLA PADA BIDANG DATAR MENGUNAKAN FUZZY LOGIC BERBASIS VISUAL STUDIO C++

Design of Control System of Ball on Plate Using Fuzzy logic Controller Based on Visual Studio C++

Fujitson Simamora¹, Erwin Susanto, S.T., M.T., Ph.D.,² Ig.Prasetya Dwi Wibawa S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹fujitson.simamora@students.telkomuniversity.ac.id, ²erwinelektro@telkomuniversity.ac.id, ³prasdwiwawa@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Ball on Plate merupakan suatu alat yang berfungsi sebagai pengatur posisi bola pada bidang datar, di mana letak bola dapat kita atur sesuai keinginan kita, namun pada Tugas akhir posisi yang ditetapkan adalah di tengah bidang.

Posisi awal pada bola merupakan hal yang paling penting, karena posisi awal bola merupakan titik awal acuan alat ini dapat bekerja sesuai fungsinya. Setelah posisi awal didapatkan maka sistem *Ball on Plate* akan bekerja menggunakan kontrol *fuzzy logic* yang berfungsi mengatur keseluruhan kerja motor dari sistem. Prinsip kerja dari sistem ini menggunakan Arduino versi Mega2560 sebagai Mikrokontroler sistem, dan Motor Servo sebagai aktuator dari sistem, dan pembacaan posisi dari sistem menggunakan program Visual Studio dengan menggunakan kamera.

Pada Penelitian ini, alat *ball on plate* dapat berfungsi baik dengan menggunakan tujuh daerah linguistik pada masing masing input dan dengan output model Sugeno bentuk *singleton*. Dan dapat memindahkan posisi bola ke tengah bidang dalam waktu nol sampai tiga detik.

Kata kunci : *Ball on Plate*, Arduino, Visual Studio, Kamera, Motor servo dan *Fuzzy logic*

Abstract

Ball on Plate is a tool that serves as a regulator of the ball's position on a horizontal plane, where the location of the ball can be set, but in this project, position is set in the middle of the field.

The initial position of the ball is the most important thing, because the initial ball position is the starting point of reference the tool can work. After obtaining the initial position, *Ball on Plate* system will work using fuzzy logic controller which controls the whole of the motor system. The system uses a version of Arduino Microcontroller Mega2560, and Servo Motors as actuators. The monitoring position of the system uses Visual studio with web camera.

In this study, *ball on plate* can work properly by using the seven areas of linguistics at each input and uses Sugeno model with *singleton* for the output. And is able to move the ball to the center of the plate within the range of zero to three seconds.

Keywords: *Ball on Plate*, Arduino, Visual Studio, camera, servo motor and Fuzzy Logic

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perkembangan Ilmu pengetahuan dan Teknologi pada saat ini mengalami perkembangan yang sangat pesat salah satunya adalah Ilmu dan teknologi tentang Sistem kontrol. Sistem kontrol adalah suatu alat yang digunakan untuk mengendalikan atau mengatur keadaan dari suatu sistem. Input serta Output dari suatu sistem yang dikontrol pun banyak contohnya. Ilmu dan teknologi kontrol juga sudah banyak digunakan dalam berbagai bidang teknologi seperti Industri otomasi, Robotika, Medis dan berbagai bidang lainnya. Sistem kontrol juga ada dua jenis yaitu sistem kontrol loop terbuka dan sistem kontrol loop tertutup. Dimana perbedaan dari kedua sistem kontrol ini adalah pada sistem kontrol loop terbuka tidak memerlukan *feedback* (umpan balik), Sementara pada sistem kontrol loop tertutup menggunakan *feedback* (umpan balik). Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam sistem kontrol adalah input, kontroler, plant, output dan *feedback* (Sistem kontrol loop tertutup). Sistem kontrol dapat dikendalikan dengan berbagai macam perangkat seperti Komputer, Mikrokontroler, PLC, dan lainnya. Plant yang digunakan juga terdapat berbagai macam seperti motor dc, motor servo, motor stepper, pompa hidraulik, dan berbagai macam mesin atau perangkat lainnya. *Feedback* merupakan proses yang paling penting dalam suatu sistem kontrol loop tertutup dimana

feedback berfungsi sebagai pemberi informasi apakah keluaran yang kita inginkan dari suatu sistem kontrol sudah sesuai, feedback juga terdapat berbagai macam jenis seperti sensor dan juga kamera yang menggunakan metode *image processing* dalam pengaplikasiannya.

Pada Tugas Akhir kali ini dirancang dan dibangun suatu sistem kontrol loop tertutup untuk mengatur posisi dari suatu objek agar tetap berada diatas suatu bidang. Objek yang digunakan adalah Bola dan bidang yang digunakan adalah bidang persegi empat. Pada Tugas Akhir ini Kontroler yang akan digunakan adalah Mikrokontroler Arduino Mega2560. Aktuator yang digunakan kali ini adalah dua buah motor servo yang peletakannya diatur sedemikian rupa agar dapat mengatur bidang datar bergerak sesuai dengan sistem kontrol yang kita harapkan. *Feedback* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah data dari hasil gambar yang ditangkap dengan kamera dan sudah diolah menggunakan *Visual Studio* dengan metode *Hough Circle Transform*. Keluaran yang diharapkan adalah agar motor servo dapat menjaga posisi dari bola yang digunakan agar tetap berada pada bidang datar.

Adapun Perangkat lunak yang digunakan pada penyusunan Tugas Akhir kali ini adalah Microsoft Visual Studio yang merupakan suatu program yang dirancang untuk menangkap posisi dari bola dan mengatur keluaran yang nantinya akan diterima oleh Arduino dan Arduino IDE yang merupakan suatu program yang digunakan untuk membuat sistem kontrol yang akan di upload kedalam Arduino Mega2560 yang kita gunakan. Metode yang juga akan digunakan dalam perancangan sistem kontrol ini adalah *Fuzzy Logic* (Logika Samar). Penulis merasa bahwa penggunaan *fuzzy logic* pada sistem kontrol ini sangat cocok dikarenakan metode ini tidak membatasi berapa batasan yang akan kita gunakan dalam perancangan sistem kontrol ini.

2. Dasar Teori dan Perancangan

2.1 Sistem Berbasis Aturan Fuzzy

Suatu sistem berbasis aturan fuzzy yang lengkap terdiri dari tiga komponen utama yaitu : *Fuzzyfication*, *Interface* dan *Defuzzification*.

a. *Fuzzyfication*

Nilai masukan yang nilai kebenarannya bersifat pasti (*crisp input*) dikonversi ke bentuk *fuzzy input*, yang berupa nilai linguistik yang ditentukan berdasarkan fungsi keanggotaan.

b. *Inference*

Suatu aturan fuzzy dituliskan sebagai: *IF antecedent THEN consequent*. Dalam suatu sistem berbasis aturan fuzzy, proses *inference* memperhitungkan semua aturan yang ada dalam basis pengetahuan. Hasil dari proses *inference* direpresentasikan oleh suatu *fuzzy set* untuk setiap variabel bebas (pada *consequent*). Derajat keanggotaan untuk setiap nilai variabel tidak bebas menyatakan ukuran komparabilitas terhadap variabel bebas (pada *antecedent*). Terdapat dua model aturan fuzzy yang digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, yaitu :

• Model Mamdani

Pada model ini, aturan fuzzy didefinisikan sebagai :

$$IF x_1 \text{ is } A_1 \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ is } A_n \text{ THEN } y \text{ is } B, \quad (2.1)$$

Dimana A_1, \dots, A_n dan B adalah nilai – nilai *linguistic* (atau *fuzzy set*) dan $x_1 \text{ is } A_1$ menyatakan bahwa nilai *variable* x_1 adalah anggota *fuzzy set* A_1 .

• Model Sugeno

Model ini dikenal juga sebagai Takagi-Sugeno-Kang (TSK) model, yaitu suatu varian dari model Mamdani. Model ini menggunakan aturan yang berbentuk :

$$IF x_1 \text{ is } A_1 \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ is } A_n \text{ THEN } y = f(x_1, \dots, x_n) \quad (2.2)$$

Dimana f bisa berupa sembarang fungsi dari variabel – variabel input yang nilainya berada dalam interval *variable output*. Fungsi ini dibatasi dengan menyatakan f sebagai kombinasi linier dari variabel – variabel input :

$$f(x_1, \dots, x_n) = w_0 + w_1 x_1 + \dots + w_n x_n \quad (2.3)$$

Dimana w_0, w_1, \dots, w_n adalah konstanta yang berupa bilangan real yang merupakan bagian dari spesifikasi aturan fuzzy.

c. *Defuzzyfication*

Terdapat berbagai metode *defuzzyfication* yang telah berhasil diaplikasikan untuk berbagai macam masalah.

• *Centroid method*

Metode ini disebut juga sebagai *Centre of Area* atau *Centre of Gravity*. Metode ini menghitung nilai *crisp* menggunakan rumus :

$$y^* = \frac{\int \mu_r(y) dy}{\int \mu_r dy} \quad (2.4)$$

Dimana y^* merupakan suatu nilai *crisp*. Fungsi *integration* dapat diganti dengan fungsi *summation* jika y bernilai diskrit, sehingga rumusnya menjadi :

$$y^* = \frac{\sum \mu_r(y)}{\sum \mu_r(y)} \quad (2.5)$$

Dimana y adalah nilai *crisp* dan μ adalah derajat keanggotaan dari y .

- **Height method**

Metode ini memiliki prinsip keanggotaan maksimum karena metode ini secara sederhana memilih nilai *crisp* yang memiliki derajat keanggotaan maksimum. Metode ini hanya bisa dipakai untuk fungsi keanggotaan yang memiliki derajat keanggotaan 1 pada suatu nilai *crisp* tunggal dan 0 pada semua nilai *crisp* yang lain. Fungsi seperti ini sering disebut *singleton*.

- **First (or last) of Maxima**

Metode ini juga merupakan generalisasi dari *height method* untuk kasus dimana fungsi keanggotaan *output* memiliki lebih dari satu nilai maksimum. Sehingga nilai *crisp* yang digunakan adalah salah satu dari nilai yang dihasilkan dari maksimum pertama atau maksimum terakhir (tergantung pada aplikasi yang akan dibangun)

- **Mean-Max method**

Metode ini disebut juga sebagai *Middle of Maxima*. Metode ini merupakan generalisasi dan *height method* untuk kasus dimana terdapat lebih dari satu nilai *crisp* yang memiliki derajat keanggotaan maksimum. Sehingga y^* didefinisikan sebagai titik tengah antara nilai *crisp* terkecil dan nilai *crisp* terbesar :

$$y^* = \frac{m + M}{2} \quad (2.13)$$

Dimana m adalah nilai *crisp* yang paling kecil dan M adalah nilai *crisp* yang paling besar.

- **Weight Average**

Metode ini mengambil nilai rata – rata dengan menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan. Sehingga y^* didefinisikan sebagai :

$$y^* = \frac{\int \mu(y) dy}{\int \mu(y)} \quad (2.14)$$

Dimana y adalah nilai *crisp* dan $\mu(y)$ adalah derajat keanggotaan dari nilai *crisp*.

2.2 Arduino Mega 2560^[10]

Arduino Mega2560 adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega2560^[11]. Arduino Mega2560 memiliki 54 pin digital input/output, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 pin sebagai input analog, dan 4 pin sebagai UART (port serial hardware), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, jack power, header ICSP, dan tombol reset. Itu semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler. Untuk dapat mengaktifkan Arduino Mega2560 cukup dengan menghubungkannya ke komputer menggunakan kabel USB atau dengan menghubungkannya ke kabel power AC-DC atau baterai, untuk dapat mengaktifkannya. Arduino Mega2560 adalah versi terbaru yang menggantikan versi Arduino Mega.

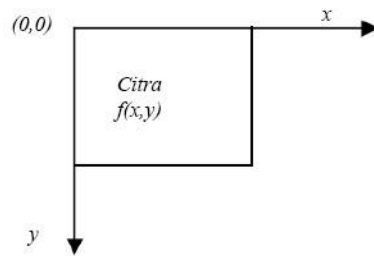


Gambar 2.1 Arduino Mega2560

2.3 Pengolahan Citra Digital

Citra digital merupakan suatu fungsi kontinu dari intensitas cahaya atau derajat keabuan dalam bidang 2 dimensi yang dapat direpresentasikan dengan $f(x,y)$, dimana x dan y menyatakan koordinat posisi piksel itu berada, dan nilai $f(x,y)$ menunjukkan intensitas (derajat keabuan) piksel atau picture element pada koordinat tersebut. Piksel itu sendiri merupakan satuan atau elemen terkecil dari citra yang menempati suatu posisi yang

menentukan resolusi citra tersebut. Misalkan f merupakan sebuah citra digital 2 dimensi berukuran $N \times M$. Maka representasi f dalam sebuah matriks dapat dilihat pada gambar di bawah ini, di mana $f(0,0)$ berada pada sudut kiri atas dari matriks tersebut, sedangkan $f(n-1, m-1)$ berada pada sudut kanan bawah.



Gambar 2.2 Sistem Koordianat Citra Digital

Pengolahan citra digital berfokus pada dua tugas utama:

- a. Meningkatkan informasi citra untuk interpretasi oleh manusia
- b. Mengolah data citra untuk penyimpanan, transmisi dan representasi dalam *autonomous machine perception*

2.3.1 Hough Circle

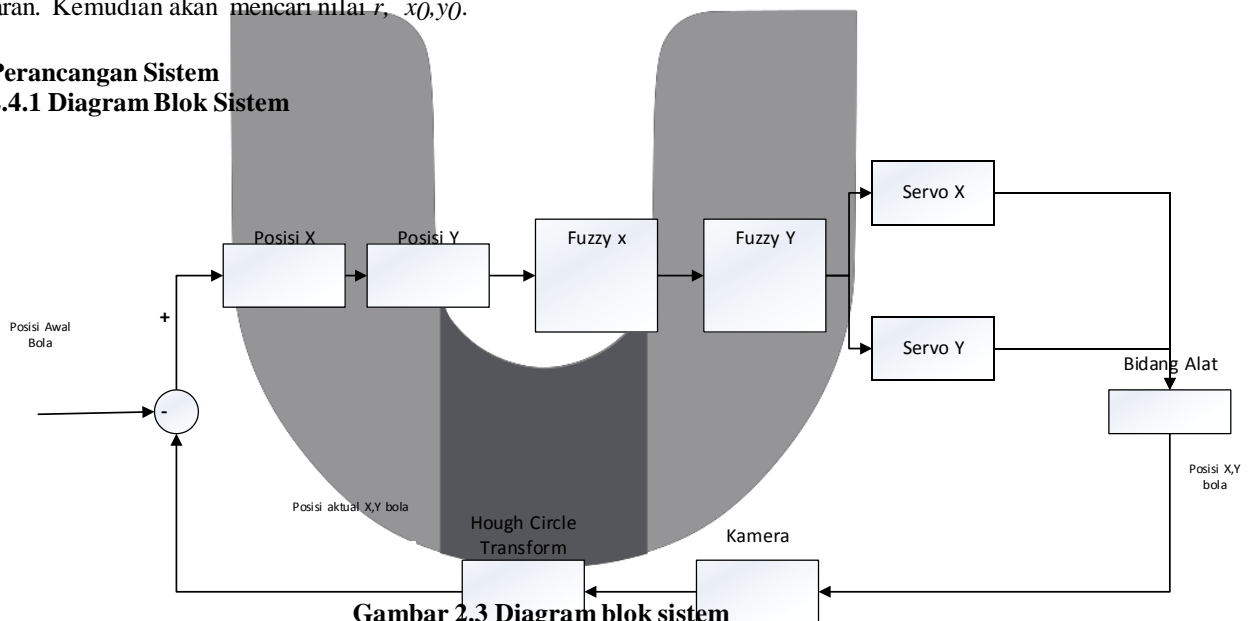
Awalnya metode ini dilakukan dengan memperkirakan intensitas dari tiap gradien yang ada pada gambar. Kemudian gambar akan mengalami *threshold* untuk menghasilkan tepian yang signifikan. Dilanjutkan menentukan tiap titik yang dimungkinkan sebagai titik pusat lingkaran. Dimana tiap titik tersebut beserta jari-jarinya akan disimpan kedalam *parameter space*. Kemudian dicari nilai fluktuasi yang berhubungan dengan titik pusat yang ada (Davies, 1990).

Hough Transform dapat mencari lingkaran dengan mengganti persamaan atas kurva dalam proses deteksi. Persamaan ini bisa dalam bentuk eksplisit, ataupun parametrik. Dalam bentuk eksplisit,

Pada pengerjaannya *hough circle* akan mencari titik-titik yang diduga sebagai bagian tepi dari suatu lingkaran. Kemudian akan mencari nilai r, x_0, y_0 .

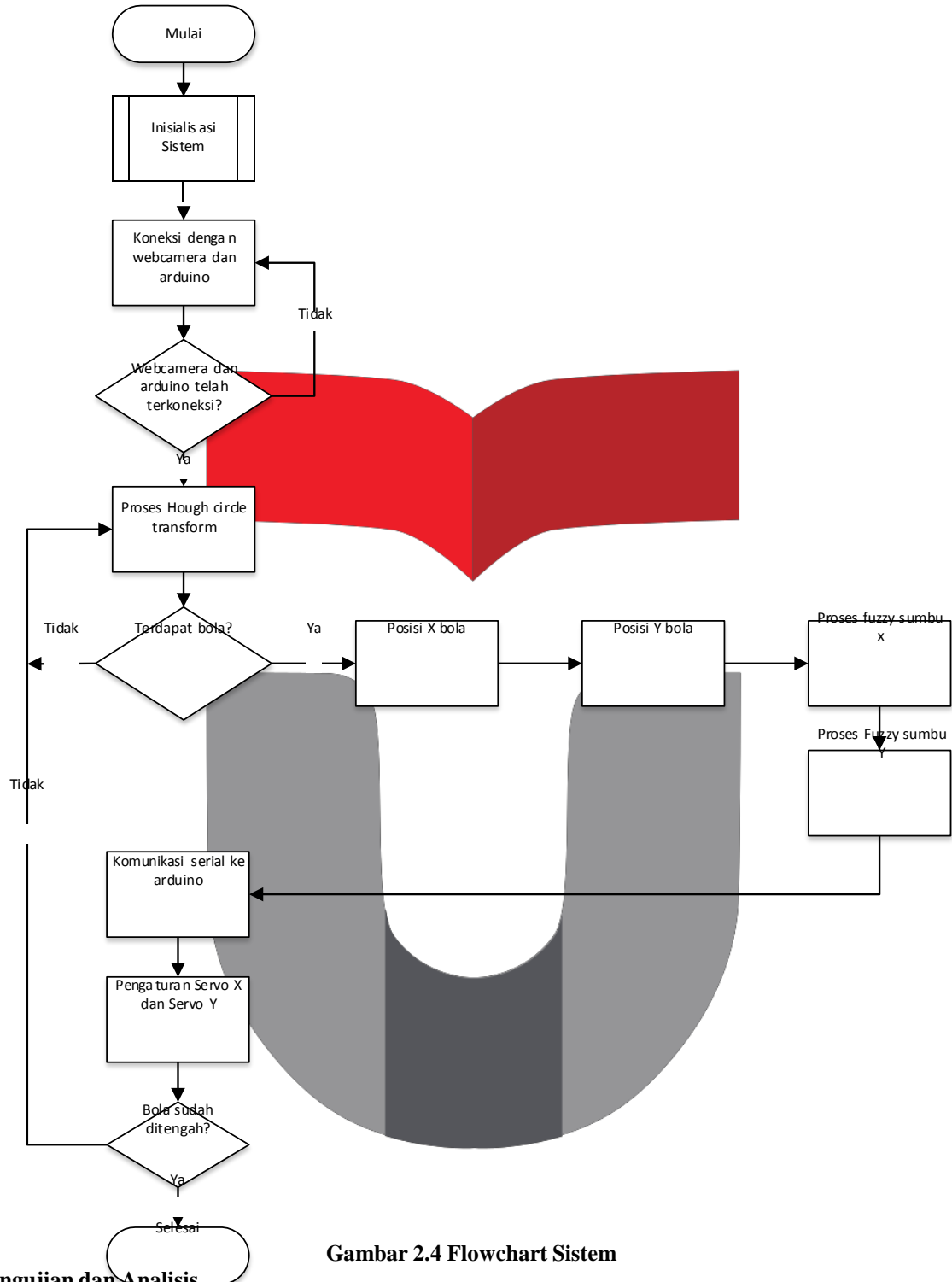
2.4 Perancangan Sistem

2.4.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 2.3 Diagram blok sistem

2.4.2 Flowchart sistem

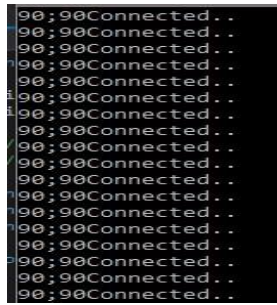


Gambar 2.4 Flowchart Sistem

3. Pengujian dan Analisis

3.1 Pengujian Komunikasi Visual Studio dengan Arduino

Setelah Arduino terkoneksi dengan PC maka Visual Studio akan menampilkan text box seperti yang terdapat dalam gambar 3.1. Lalu Visual Studio akan mengirimkan data untuk arduino dan ditampilkan didalam LCD data yang dikirim dapat dilihat pada tabel 3.1.



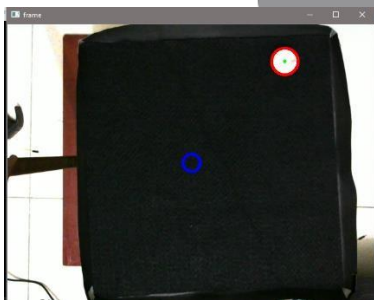
Gambar 3.1 Visual dan Arduino telah tersambung

Data terkirim		Data Terbaca		Error	
x	y	x	y	X	Y
0	150	0	150	0	0
10	140	10	140	0	0
20	130	20	130	0	0
30	120	30	120	0	0
40	110	40	110	0	0
50	100	50	100	0	0
60	90	60	90	0	0
70	80	70	80	0	0
80	70	80	70	0	0
90	60	90	60	0	0
100	50	100	50	0	0
110	40	110	40	0	0
120	30	120	30	0	0
130	20	130	20	0	0
140	10	140	10	0	0
150	0	150	0	0	0

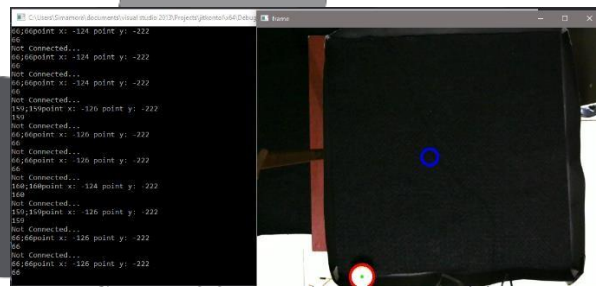
Tabel 3.1 Hasil Pengiriman Data

3.2 Pengujian Pendeteksi *Hough Circle Transform*

Mengamati pendeteksi bola yang dilakukan oleh Visual Studio apakah sudah terdeteksi dengan benar dan tepat.



Gambar 3.2 Pendeteksi Bola



Gambar 3.3 Deteksi bola dan posisi

Pada gambar 3.2 kita dapat melihat bahwa bola telah terdeteksi dengan baik dengan pemberian lingkaran merah oleh metode *hough circle transform*. Dan pada gambar 3.3 dapat dilihat bahwa keluaran dari metode *hough circle transform* tidak hanya mendeteksi lingkaran saja tetapi juga memberikan koordinat bola yang ada dan pada gambar koordinat yang terdeteksi adalah nilai X= -126 dan Y= -222.

3.3 Pengujian *Fuzzy Logic*

Pengujian Dilakukan dengan meletakkan bola pada sembarang tempat di bidang yang ada. Dan disini hasil keluaran dari *fuzzy logic* oleh visual studio akan dibandingkan dengan hasil *fuzzy logic* yang penulis hitung dengan manual, lalu kedua hasil tersebut dibandingkan apakah terdapat perbedaan diantara kedua hasil *fuzzy logic* tersebut.

Input X	Input x-1	Input del_er X	Output Fuzzy Vistud	Ouput Fuzzy Manual	Error
			X	X	X
230	0	230	145	145	0
232	230	2	130	130	0
218	220	-2	130	130	0
142	152	-10	124	122,3	1,7
94	114	-20	107	107,5	-0,5
74	94	-20	97	97,5	-0,5
52	74	-22	90	90	0
-112	-118	6	74	74,4	-0,4
74	10	64	101	101,6	-0,6
92	74	18	105	105,4	-0,4
-16	-52	36	90	90	0
-158	-152	-6	60	60,6	-0,6
82	140	-58	101	101,2	-0,2
-84	62	-146	107	107,45	-0,45
-106	-84	-22	76	76,2	-0,2

Tabel 3.2 Hasil Pengujian Fuzzy X

Dari Tabel 3.2 dapat dilihat bahwa output dari visual studio dengan output manual terdapat perbedaan, perbedaan hasil dari kedua output tersebut sangat kecil dimana perbedaannya hanya bilangan desimal maka dari hasil pengujian ini dapat dikatakan bahwa fuzzy yang digunakan sudah baik dan tingkat kebenaran fuzzy dari visual studio adalah 99%

Input Y	Input Y-1	Input Del_error Y	Output Fuzzy Vistud	Ouput Fuzzy Manual	Error
			Y	Y	Y
158	0	158	144	144	0
160	158	2	60	60	0
38	26	12	90	90	0
174	170	4	60	60	0
178	176	2	60	60	0
176	178	-2	60	60	0
174	176	-2	60	60	0
118	118	0	61	60,75	-0,25
126	114	12	72	72,25	0,25
132	126	6	64	64,5	0,5
12	-4	16	90	90	0
66	70	-4	85	84,75	-0,25
62	60	2	83	83,25	0,25
58	62	-4	82	81,75	-0,25
58	58	0	82	81,75	-0,25

Tabel 3.3 Hasil Pengujian Fuzzy Y

Dari Tabel 3.3 dapat dilihat bahwa output dari visual studio dengan output manual terdapat perbedaan, perbedaan hasil dari kedua output tersebut sangat kecil dimana perbedaannya hanya bilangan desimal maka dari hasil pengujian ini dapat dikatakan bahwa fuzzy yang digunakan sudah baik dan tingkat kebenaran fuzzy dari visual studio adalah 99%

4. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisis sistem yang telah dilakukan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Sistem pendeteksian objek menggunakan metode *Hough Circle Transform* sudah dapat dilakukan jika nilai pada *threshold* objek tepat. Tetapi metode ini dapat dikatakan masih sangat kurang responsif terhadap objek yang bergerak cepat.
2. Komunikasi antara Visual Studio dan Arduino sudah cukup baik

3. Kendali sistem dengan menggunakan 2 buah metode fuzzy dapat bekerja dengan baik. Dimana masing masing fuzzy (fuzzy x dan fuzzy y) memiliki 5 daerah linguistik dengan menggunakan fungsi anggota segitiga dan trapesium.
4. Kendali logika fuzzy dengan menggunakan model Sugeno dapat bekerja dengan baik. Dimana output terdiri dari 5 himpunan "angkat cepat", "angkat", "berhenti", "turun" dan "turun cepat" dengan masing-masing derajat keanggotaan bernilai 150,120,90,60 dan 30.

Daftar Pustaka :

- [1] Nise, Norman S. 2011. "Control Systems Engineering 6th edition," New York.
- [2] Bruce, Jonathan, Keeling, Chris, dan Rodriguez, Ronald. 2011. "Four Degree of Freedom Control System Using a Ball on a Plate." Georgia, United State.
- [3] Jafari, Hooshang, dkk. 2012. "Linear Quadratic Gaussian Control for ball and plate system." Iran
- [4] Pengantar Dasar Sistem Kontrol. Terdapat di: <http://dosen.narotama.ac.id/wp-content/uploads/2012/12/modul-1-PENGANTAR-SISTEM-KONTROL.doc> (diakses pada tanggal 10 Oktober 2015).
- [5] Peranginangin, R. 2015. "Dasar Teori Fuzzy Logic," Medan.
- [6] Fuzzy Logic. Terdapat di : <http://wangready.files.wordpress.com> (diakses pada tanggal 14 November 2015).
- [7] Rastogi, Asem, dkk. 2013. "Balancing Ball on Plate Using Fuzzy Logic." Malardalen University, Swedia.
- [8] Suyanto. 2007. "Artificial Inteligent," Bandung, INFORMATIKA.
- [9] Arduino. Terdapat di : <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (diakses pada tanggal 20 November 2015)
- [10] Arduino Board Mega2560. Terdapat di : <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560> (diakses pada tanggal 20 November 2015)
- [11] Pin Mapping2560. Terdapat di: <https://www.arduino.cc/en/Hacking/PinMapping2560> (diakses pada 20 November 2015)
- [12] Arduino Mega2560 PinOut. Terdapat di : <http://www.electroschematics.com/7963/arduino-mega-2560-pinout/> (diakses pada tanggal 20 November 2015)
- [13] Sujawarta. "PENGENDALI MOTOR SERVO BERBASIS MIKROKONTROLER BASIC STAMP 2SX UNTUK MENGEMBANGKAN SISTEM ROBOTIKA," Semarang , Indonesia.
- [14] Servo Motor. Terdapat di: <http://www.achyarnurandi.net/2013/07/servo-motor-bagian-1-pengenalan-dan.html> (diakses pada tanggal 25 November 2015)
- [15] Kendali Motor Servo dengan PWM (2011). Terdapat di : <http://www.saripudin.net/2011/09/kendali-motor-servo-dengan-pulse-width.html> (diakses pada tanggal 26 November 2015)
- [16] Reynatta, Ria. "Perancangan Sistem Pemantau dan Penentuan Tempat Parkir Berdasarkan Digital Image Processing." Manado, Indonesia.
- [17] Mulyawan, Hendy., Samsono, M Zen Hadi., Setiawardhana. "IDENTIFIKASI DAN TRACKING OBJEK BERBASIS IMAGE PROCESSING SECARA REAL TIME." Surabaya, Indonesia.
- [18] Iqbal, Muhammad. 2012. "Digital Image Processing." Universitas Gunadarma.
- [19] OpenCV. Terdapat di: <https://id.wikipedia.org/wiki/OpenCV> (diakses pada tanggal 31 Maret 2016)