

SISTEM KENDALI SERVO POSISI DAN KECEPATAN MENGUNAKAN *FUZZY LOGIC* DENGAN *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER*

Medi Taruk¹, Agustiawati²

Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA, UGM
Jl. Sekip Utara- Bulaksumur, Sleman 55281, Yogyakarta, Indonesia
¹medi.taruk@mail.ugm.ac.id, ²aagustiawati86@gmail.com

Abstract-Development of fuzzy logic control system for controlling the position and speed of a DC servo motor-based Programmable Logic Controller (PLC) has many advantages such as easy to change the characteristics of the system simply by entering numbers into a computer. Development of fuzzy control using PLC very quickly and are relatively easy to build because fuzzy logic module has been available.

Abstract-Pengembangan sistem kendali fuzzy logic untuk pengendalian posisi servo dan kecepatan motor DC dengan berbasis Programmable Logic Controller (PLC) memiliki banyak keunggulan antara lain mudah untuk mengubah karakteristik sistem hanya dengan memasukkan angka ke dalam komputer. Pengembangan kendali fuzzy menggunakan PLC sangat cepat dan relatif mudah untuk dibuat karena modul fuzzy logic telah tersedia.

Keywords-Programmable Logic Controller(PLC), Fuzzy Logic, Servo Motor

I. PENDAHULUAN

PLC dengan segala fasilitas didalamnya mampu menggantikan peran manusia untuk mengoperasikan kendalian dari jarak jauh dengan sistem otomatis. PLC dapat memantau masukan-masukan maupun keluaran-keluaran sesuai dengan instruksi di dalam program dan melaksanakan aturan kontrol yang telah diprogram. Hal ini membuat pekerjaan lebih efisien dan efektif dari beberapa hal seperti ekonomi, *safety* dan tenaga kerja

Saat ini perkembangan industry semakin besar dan kompleks. *Programmable Logic Cotroller* (PLC) banyak digunakan dalam industri, karena itu perlu diperkenalkan teknik kendali *Fuzzy Logic* dalam sistem kontrol di industri dengan berbasis PLC. Walaupun penggunaan teknik kendali *fuzzy logic* telah cukup meluas pada berbagai aplikasi mulai dari kendali proses industri, elektronika rumah tangga, kendali robot dan lain-lain tetapi sebagian besar implementasinya menggunakan mikrokontroler atau *personal computer*.

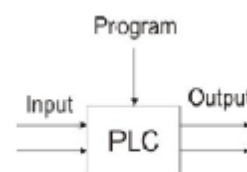
Hal yang penting adalah metode untuk dapat mengendalikan suatu *plant* atau sistem. Para ahli telah mencoba banyak metode untuk dapat mengendalikan suatu sistem, antara lain metode *Proporsional-Integral-Derivatif* (PID), peletakan *pole* (sistem kendali optimal), dan pengendalian berdasarkan *fuzzy logic*. Hal ini dikarenakan mudahnya penggunaan pengendalian metode

fuzzy tanpa harus mengetahui terlebih dahulu watak dari sistem.

II. DASAR TEORI

A. Programmable Logic Control (PLC)

Programmable Logic Control (singkatnya PLC) merupakan suatu bentuk khusus kendalian berbasis mikroprosesor yang memanfaatkan memori yang dapat di program untuk menyimpan instruksi-instruksi dan untuk mengimplementasikan fungsi-fungsi logika, *sequencing*, pewaktuan (*timing*), pencacah (*counting*) dan aritmatika guna mengendalikan mesin-mesin dan proses-proses. Perangkat ini dirancang sedemikian rupa agar tidak hanya *programer* komputer saja yang dapat membuat atau mengubah program-programnya. Oleh karena itu, para perancang PLC telah menempatkan sebuah program awal di dalam piranti ini (*pre-program*) yang memungkinkan program kontrol dimasukkan dengan menggunakan suatu bentuk bahasa pemrograman yang sederhana dan intuitif. Istilah logika (*logic*) digunakan karena pemrograman yang harus dilakukan sebagian besar berkaitan dengan pengimplementasikan operasi-operasi logika dan penyambungan (*switching*). Misalnya jika A atau B terjadi maka sambungkan (atau hidupkan) C, jika A dan B terjadi maka sambungkan D. Perangkat-perangkat masukan berupa sensor-sensor, saklar, dan perangkat-perangkat keluaran di dalam sistem yang dikontrol, misalnya motor, katup, dan sebagainya dapat dihubungkan ke PLC. Operator kemudian memasukkan serangkaian instruksi, yaitu, sebuah program ke dalam memori PLC. Perangkat pengontrol tersebut kemudian memantau masukan-masukan dan keluaran-keluaran sesuai dengan instruksi-instruksi di dalam program dan melaksanakan aturan-aturan kontrol yang telah diprogram.



Gambar 1. Programmable Logic Control

PLC yang digunakan dalam penelitian ini adalah PLC-5 Allen Bradley yang penjelasannya dapat di bagi menjadi dua bagian yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

B. Hardware PLC-5 Allen Bradley

- Modul analog *input* (masukan) adalah modul yang menghubungkan antara masukan sinyal analog dengan sinyal prosesor PLC-5 *Allen Bradley*. Dalam penelitian ini yang digunakan adalah 1771-IFE Series C dengan jarak masukan berupa tegangan antara 0-5 Volt.
- Modul analog *output* (keluaran) adalah sebuah modul *intelligent block transfer* yang mengubah besaran biner atau nilai empat digit BCD (yang berasal dari prosesor) ke sinyal analog pada ke empat keluaran modul. Untuk penelitian ini yang digunakan adalah 1771-OFE2 dengan jarak keluaran berupa arus antara 4-20mA..

C. Software PLC-5 Allen Bradley

RSLogix-5 adalah perangkat lunak berbasis pada grafis sehingga memudahkan setiap penggunaanya dalam merencanakan program PLC yang diinginkan dengan menggunakan teknologi *Human Machine Interface* sehingga pengguna dapat mengakses instruksi hanya dengan metode klik dan drag.

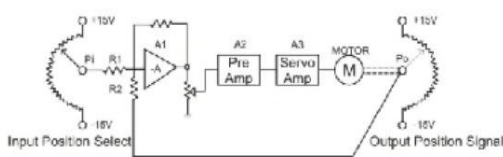
RSView-32 adalah sebuah perangkat lunak yang berfungsi untuk membuat sebuah antarmuka agar seluruh sistem pada PLC dapat dikendalikan dan di monitor oleh antarmuka tersebut. Perangkat lunak ini dapat berkomunikasi dengan perangkat lunak pemogram dari *Allen Bradley* (dalam hal ini RSLogi-5) sehingga setiap parameter dan kondisi yang berubah pada PLC dapat diketahui oleh antarmuka yang dibuat.

D. Motor DC Servo Trainer

DC Servo Trainer ED-4400B dari ED Co., LTD adalah sistem loop tertutup servo DC yang didesain untuk modul praktikum. Inti konsep pembuatan sistem *trainer ED-4400B* untuk memberikan pengetahuan praktik kerja pada sistem loop tertutup servo DC kepada pengguna dengan mengintegrasikan dasar teori dan langkah demi langkah percobaan dengan satu subjek.

- Pengendali Sudut dengan Loop Tertutup.

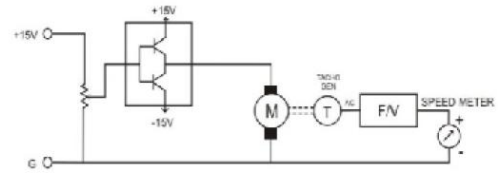
Dalam sistem pengendali servo posisi gambar 2, informasi posisi dari potensiometer yang dihubungkan pada motor menjadi umpan balik pada penguat kontrol (*control amplifier*). Kemudian, pengaturan posisi masukan dari masukan potensiometer dikombinasikan dengan sinyal balik pada input amplifier yang menjalankan motor pada bagian yang berbeda antara dua sinyal. Ketika kedua posisi teridentifikasi, keluaran pada amplifier akan menjadi nol.



Gambar 2. Loop Tertutup Pengontrol Posisi Servo

- Kecepatan Motor dan Karakteristik

Secara umum motor merupakan sebuah mesin yang mengkonversi energi listrik menjadi energi gerak. Elemen kunci dari motor DC adalah medan (*field*) dan armatur gambar 3. Aliran arus listrik yang melewati medan akan menimbulkan torka (tenaga putaran) pada armatur.



Gambar 3. Rangkaian Ekuivalen Pengontrolan Motor

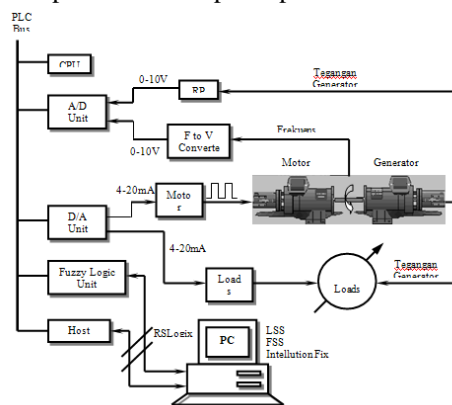
- Rangkaian Pembagi Tegangan.

Dijelaskan bahwa rangkaian pembagi tegangan (juga dikenal sebagai pembagi potensial) adalah rangkaian linear sederhana yang menghasilkan tegangan *output* (V_{out}) yang berasal dari tegangan *input* (V_{in}). Pembagi tegangan merujuk pada pembagian dari tegangan tergantung pada komponen yang pembagiannya. Rumusnya adalah sebagai berikut :

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \tag{1}$$

III. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan sistem kendali posisi dan kecepatan putaran motor servo DC ini dibagi atas dua bagian yang saling berkaitan satu dengan lainnya, yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. gambar 4 memperlihatkan blok diagram sistem pengendali posisi dan kecepatan putaran motor servo DC.



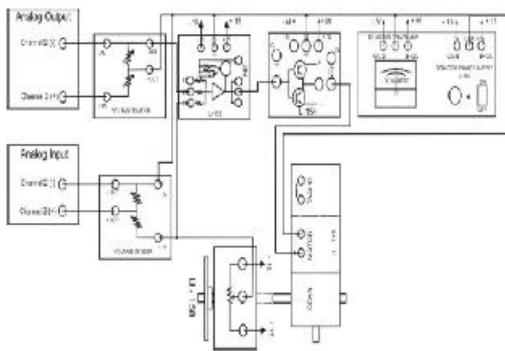
Gambar 4. Blok Diagram Sistem Kendali Posisi dan Kecepatan Motor Servo DC

A. Perangkat Keras

Sistem *plant* yang dibuat terdiri dari sebuah motor servo DC, sebuah generator DC dan 6 buah lampu DC. Motor servo dikopelkan langsung ke generator sehingga perputaran dari motor menghasilkan tegangan pada generator. Lampu DC digunakan sebagai beban daripada generator. Besar tegangan lampu DC diatur melalui suatu rangkaian driver sehingga dapat menghasilkan beban yang variabel bagi generator.

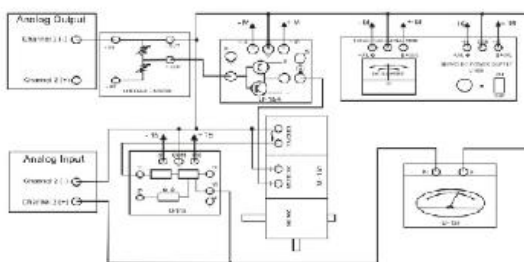
Ada dua tipe kontrol yang dikembangkan yaitu kontrol kecepatan motor dan kontrol tegangan output posisi generator. Karena itu ada dua parameter yang digunakan sebagai *feedback* input pada PLC. Parameter pertama adalah frekuensi sinyal dari *tachometer* yang menunjukkan kecepatan motor. Besaran frekuensi ini, oleh rangkaian pengubah frekuensi ke tegangan, diubah menjadi tegangan kemudian diinputkan pada PLC melalui analog input unit (AD002 unit). Parameter kedua adalah tegangan output posisi generator yang juga diinputkan pada PLC melalui analog input unit. Suatu rangkaian pengkondisi sinyal ditambahkan untuk menurunkan tegangan output generator agar sesuai dengan range tegangan analog input unit.

Rangkaian driver motor servo DC dibuat dengan metode *Pulse Width Modulation* (PWM). Metode PWM dalam kontrol kecepatan putaran motor didapatkan dengan mengatur *duty cycle* dari *pulse* yang diberikan ke motor. Semakin besar *duty cycle pulse* yang diberikan ke motor maka semakin cepat putaran motor karena tegangan rata-rata semakin besar. Karena output analog PLC (DA001 unit) adalah arus 4 – 20 mA maka sebelum ke rangkaian driver motor perlu ditambahkan rangkaian yang mengubah arus 4 – 20 mA menjadi tegangan -5 - 5 volt.



Gambar 5. Rangkaian Pengendali Servo Posisi

Rangkaian driver beban digunakan untuk menghasilkan beban generator yang variabel. Beban dari generator dalam sistem ini berupa lampu DC 12V 6W berjumlah 6 buah. Masing-masing lampu dapat diatur nyala matinya menggunakan relay dari PLC. Rangkaian driver ini mempunyai input 4 – 20mA yang didapat dari PLC melalui analog output unit (DA001). Dengan mengatur tegangan lampu maka dengan demikian juga dapat mengatur daya dari lampu tersebut sehingga dihasilkan beban yang variabel.



Gambar 6. Rangkaian Pengendali Kecepatan Motor

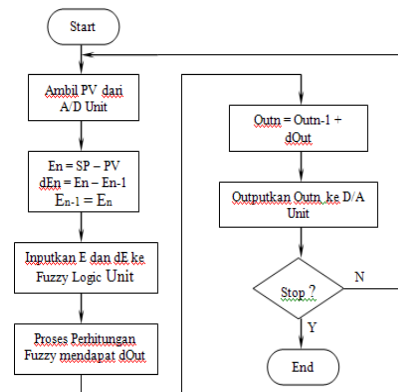
B. Perangkat Lunak

1. Pembuatan *Function* dan *Fuzzy Logic*

Sebagai langkah pertama akan didesain *knowledge base* untuk *fuzzy logic unit*. *Knowledge base* tersebut berupa *membership function* dari *input* dan *output* serta *fuzzy if-then rule*. Pembuatan *knowledge base* untuk *fuzzy logic unit* menggunakan perangkat lunak yaitu *Fuzzy Support Software* (FSS). Perangkat lunak ini dioperasikan pada PC lalu kemudian dapat ditransfer Logic Unit dengan protokol komunikasi RSLogix-5 melalui COM1 dengan *baud rate* 9.600 bps.

Pada kontrol kecepatan motor, ada dua *crisp input* yaitu *error* kecepatan motor (SE) dan perubahan *error* kecepatan motor (dSE), sedangkan *crisp output* adalah perubahan level *duty cycle* PWM. Untuk kontrol tegangan generator, ada dua *crisp input* yaitu *error* tegangan generator (VE) dan perubahan *error* tegangan generator (dV E), sedangkan *crisp output* adalah perubahan level *duty cycle* PWM. *Membership function* untuk masing-masing *input* dan *output* dari kontrol kecepatan motor dan kontrol tegangan *output* generator dibuat sama. Proses pembuatan *fuzzy if-then rule* dilakukan dengan mengekstrak kemampuan manusia dalam mengendalikan suatu sistem kendali. *Fuzzy if-then rule* untuk kontrol kecepatan motor dan kontrol tegangan output genetator dibuat sama.

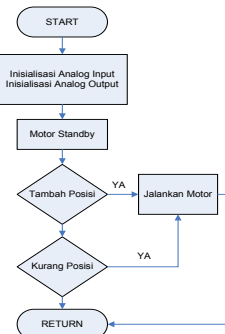
Algoritma *fuzzy logic* kontroler baik untuk kontrol kecepatan motor maupun kontrol tegangan generator adalah sama dan dijabarkan pada gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alir *Fuzzy Logic* Kontroller dan *Fuzzy Logic* Unit

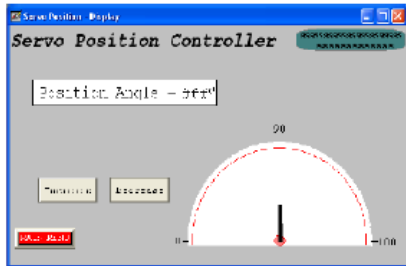
2. Perangkat Lunak Pengendali Servo Posisi

Sistem untuk kendalian Servo posisi dapat dilihat dari flowchart gambar 8 berikut :



Gambar 8. Flowchart Pengendali Sudut Posisi

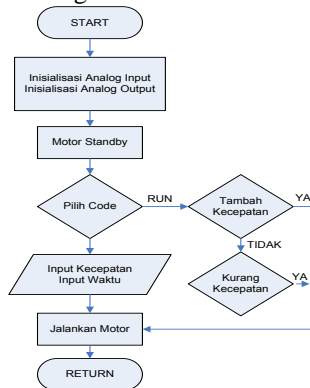
Ketika Motor Standby, maka posisi diatur dengan memutar potensiometer. Pengendaliannya berupa kenaikan dan menurunnya nilai integer akibat perubahan potensiometer sehingga terjadi perubahan sudut setiap perubahan nilai Integer. Untuk antarmukanya dapat dilihat pada gambar 9 berikut.



Gambar 9. Window Servo Position

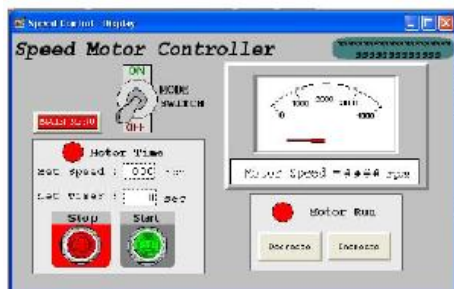
3. Perangkat Lunak Pengendali Kecepatan Motor

Sistem untuk kendalian Kecepatan Motor dapat dilihat dari flowchart gambar 10.



Gambar 10. Flowchart Pengendali Kecepatan Motor

Untuk program pada pengendali ini dibuat dua buah pilihan mode untuk mengendalikan kecepatan motor, yaitu *Motor Run* dan *Motor Time*. Prinsip kerja untuk mode *Motor Run* adalah menaikkan atau menurunkan kecepatan motor sesuai dengan nilai Integernya. Sedangkan untuk mode *Motor Time*, diperlukan pengaturan berapa kecepatan yang diinginkan dan berapa waktu putaran motor tersebut. Setelah dijalankan, maka motor akan berputar sesuai kecepatan dan waktu yang diatur. Setelah selesai, maka motor kembali dalam kondisi standby. Antarmuka dari program kecepatan motor ini dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Window Motor Speed

IV. HASIL DAN PENGUJIAN

Pada bagian ini akan dibahas apakah program antarmuka berjalan sesuai dengan yang diinginkan dan melihat berapa parameter analog yang keluar dari PLC untuk menggerakkan motor dan berapa parameter analog yang masuk ke PLC berasal dari potensiometer untuk pengaturan sudut dan *tachometer* untuk pengaturan kecepatan motor sebagai *feedback* dari kendalian. Kemudian dianalisis parameter yang muncul di antarmuka dan membandingkannya dengan kenyataan agar bisa dianalisis berapa persentase kesalahan dari parameter tersebut. Pengujian untuk sistem kontrol kecepatan putaran motor dan sistem kontrol tegangan output generator dengan logika fuzzy dibagi menjadi 3 macam pengujian, yaitu :

1) Pengujian Tegangan Masukan dan Keluaran

Pengujian ini dibagi atas dua yaitu pengujian pada bagian servo posisi dan pengujian pada bagian pengontrolan kecepatan motor. Pengujian pada bagian servo posisi terdiri atas dua bagian yaitu bagian tegangan masukan dan keluaran. Untuk bagian tegangan masukan jarak keluaran PLC antara 4-20 mA untuk jarak Integer antara 0 – 180. Tegangan masukan secara teori dihitung dengan memakai nilai tahanan $R = 606,5 \Omega$. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 1.

Dari tabel 1 dapat dianalisis bahwa setiap kenaikan integer berpengaruh akan besarnya nilai arus yang keluar dari PLC. Maka setiap kenaikan arus tegangan akan bertambah. Dan juga dapat terlihat bahwa antara tegangan masukan pengaturan servo posisi tidak jauh berbeda antara teori dan praktek. Selisih perbedaan tegangan dapat dilihat dari presentase kesalahan yang berkisar antara 0,08% sampai dengan 0,82%.

Tabel 1. Tegangan Masukan Servo Posisi

Integer	Arus (mA)	Vin teori (Volt)	Vin praktek (Volt)	Presentase Kesalahan
0	4	2.43	2.44	0.58%
10	4.89	2.97	2.99	0.82%
20	5.78	3.51	3.53	0.70%
30	6.67	4.05	4.06	0.36%
40	7.56	4.59	4.6	0.32%
50	8.45	5.12	5.15	0.49%
60	9.34	5.66	5.68	0.27%
70	10.23	6.20	6.22	0.25%
80	11.12	6.74	6.75	0.08%
90	12.01	7.28	7.29	0.08%
100	12.9	7.82	7.8	0.30%
110	13.79	8.36	8.29	0.88%
120	14.68	8.90	8.86	0.49%
130	15.57	9.44	9.39	0.56%
140	16.46	9.98	9.92	0.63%
150	17.35	10.52	10.45	0.69%
160	18.24	11.06	11	0.57%
170	19.13	11.60	11.53	0.62%
180	20	12.13	12.07	0.49%

Untuk tegangan keluaran pada pengaturan servo posisi maka dibandingkan pula tegangan yang masuk ke dalam PLC. Tegangan tersebut dihitung secara teoritis dengan menggunakan persamaan 1 setelah dikonversi dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan. Untuk tegangan sumbernya berasal dari tegangan keluaran dari potensiometer, tahanan pertama $R1 = 500 \Omega$ dan tahanan kedua $R2 = 354,1 \Omega$.

Dari tabel 2 dapat dianalisis bahwa untuk setiap kenaikan Integer, maka tegangan yang dihasilkan dari

potensiometer akan naik. Dan juga dapat dilihat bahwa antara tegangan keluaran pengaturan servo posisi tidak jauh berbeda antara teori dan praktek. Selisih perbedaan tegangan dapat dilihat dari presentase kesalahan yang berkisar antara 0,20% sampai dengan 1,55%.

Tabel 2. Tegangan Keluaran Servo Posisi

Integer	Tegangan Sumber (Volt)	Vout teori (Volt)	Vout praktek (Volt)	Presentase Kesalahan
0	2.85	1.18	1.17	0.98%
10	3.38	1.40	1.38	1.52%
20	3.92	1.63	1.6	1.55%
30	4.46	1.85	1.83	1.03%
40	4.99	2.07	2.04	1.39%
50	5.53	2.29	2.27	0.99%
60	6.09	2.52	2.49	1.38%
70	6.64	2.75	2.71	1.56%
80	7.15	2.96	2.94	0.82%
90	7.57	3.14	3.13	0.27%
100	8.18	3.39	3.37	0.63%
110	8.57	3.55	3.52	0.93%
120	9.26	3.84	3.82	0.50%
130	9.8	4.06	4.05	0.32%
140	10.27	4.26	4.23	0.65%
150	10.86	4.50	4.45	1.17%
160	11.4	4.73	4.7	0.56%
170	11.73	4.86	4.84	0.48%
180	12.06	5.00	4.99	0.20%

Pada pengaturan kecepatan motor, Perbandingan tegangan secara teori dan praktik hanya digunakan pada tegangan keluaran mengingat pada tegangan keluaran rangkaian pembagi tegangan. PLC mengeluarkan arus keluaran antara 4-20 mA sehingga diperlukan rangkaian tegangan untuk mengubah arus tersebut menjadi tegangan masukan ke motor. Integer yang mewakili perubahan kecepatan motor adalah 80-400. Pada rangkaian pembagi tegangan nilai tahanan yang dipakai adalah $R = 465 \Omega$. Hasil yang didapat dilihat pada tabel 3.

Dari tabel 3 dapat dianalisis bahwa setiap kenaikan integer berpengaruh akan besarnya nilai arus yang keluar dari PLC. Maka setiap kenaikan arus maka tegangan akan bertambah. Dan dapat juga dilihat bahwa antara tegangan keluaran pengendalian kecepatan motor tidak jauh berbeda antara teori dan praktek. Selisih perbedaan tegangan dapat dilihat dari presentase kesalahan yang berkisar antara 0,04% sampai dengan 1,22%.

Tabel 3. Tegangan Masukan Kecepatan Motor

Integer	Arus (mA)	Vin teori	Vin praktek	Presentase Kesalahan
80	4	1.86	1.84	1.22%
100	5	2.33	2.31	0.79%
120	6	2.79	2.78	0.50%
140	7	3.26	3.25	0.30%
160	8	3.73	3.72	0.14%
180	9	4.19	4.19	0.02%
200	10	4.66	4.65	0.14%
220	11	5.12	5.12	0.04%
240	12	5.59	5.58	0.14%
260	13	6.05	6.03	0.39%
280	14	6.52	6.5	0.30%
300	15	6.98	6.95	0.50%
320	16	7.45	7.41	0.54%
340	17	7.92	7.87	0.58%
360	18	8.38	8.3	0.98%
380	19	8.85	8.76	0.99%
400	20	9.31	9.2	1.22%

2) Pengujian sistem terhadap variasi jumlah label dalam *membership function*.

Dari grafik-grafik pengujian respon sistem terhadap variasi jumlah label menunjukkan bahwa *settling time* (ts) untuk setiap jumlah label yang diujikan sama cepat dan tidak jauh berbeda satu dengan lain. *Steady state error*

(Es) yang terbaik adalah sistem dengan 7 label *membership function*. Sistem yang menggunakan 6 label *membership function* mempunyai *steady state error* (Es) terburuk, hal ini disebabkan karena tidak ada *zero*.

3) Perbandingan Parameter Antarmuka

Selain pengujian tegangan pada alat, sistem ini juga dibandingkan antara antarmuka yang dibuat dan dengan menggunakan modul praktikum ED- 4400 *Servo System*. Perangkat ini dilengkapi potensiometer untuk servo posisi dan tachometer untuk kecepatan motor sehingga dengan mudah bisa membandingkan hasilnya dengan sistem ini. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan maka perubahan kenaikan integer adalah sebagai parameter yang diambil sehingga bisa menghasilkan hasil yang mendekati nilai pembacaan dari alat praktikum tersebut.

Perbandingan terbagi atas dua sistem yaitu pengendali sudut motor dan kecepatan putaran motor. Pada pengendali sudut motor akan dibandingkan antara sudut yang ditunjukkan oleh antarmuka dan sudut dari potensiometer modul praktikum. Hasil yang didapat dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Derajat Sudut Pengendali Posisi Sudut

Integer	Sudut Potensiometer ($^{\circ}$)	Sudut Antarmuka ($^{\circ}$)	Presentase Kesalahan
0	134	137	2.24%
10	125	129	3.20%
20	117	121	3.42%
30	109	112	2.75%
40	103	107	3.88%
50	93	98	5.38%
60	84	90	7.14%
70	76	80	5.26%
80	70	75	7.14%
90	63	68	7.94%
100	55	59	7.27%
110	49	52	6.12%
120	40	42	5.00%
130	34	36	5.88%
140	27	28	3.70%
150	21	21	0.00%
160	15	13	13.33%
170	11	9	18.18%
180	9	7	22.22%

Dari tabel 4 memperlihatkan prosentase kesalahan terbesar berada pada awal posisi yaitu pada integer 180 sampai 160 yaitu diatas 10%. Ini disebabkan karena jauhnya perbedaan tegangan yang masuk dan pembacaan pada integer. Kemudian penyebab besarnya perbedaan sudut karena kurang akuratnya potensiometer dalam memberikan tegangan yang masuk ke dalam masukan analog menyebabkan PLC kurang tepat membaca sudut yang ditunjukkan oleh potensiometer. Dan juga masih adanya selisih perbedaan tegangan yang masuk ke dalam rangkaian penjumlah tegangan modul praktikum. Selisih tegangan tersebut sangat kecil sehingga menyebabkan motor tidak berputar karena tidak cukup tegangan untuk memutar motor. Selisih perbedaan sudut posisi dapat dilihat dari presentase kesalahan yang berkisar antara 2,24% sampai dengan 22,22%.

Pada pengaturan kecepatan putaran motor akan dibaca dengan melihat berapa *Round per minute* (RPM) yang dihasilkan motor. Untuk melihat RPM dari motor

dengan menggunakan tachometer. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan RPM pada Kendali Kecepatan Motor

Integer	Rpm Tachometer	Rpm Antarmuka	Presentase Kesalahan
80	790	770	2.53%
100	970	950	2.06%
120	1180	1160	1.69%
140	1370	1330	2.92%
160	1540	1510	1.95%
180	1770	1720	2.82%
200	1950	1900	2.56%
220	2160	2140	0.93%
240	2360	2300	2.54%
260	2560	2510	1.95%
280	2770	2720	1.81%
300	2970	2950	0.67%
320	3170	3100	2.21%
340	3290	3260	0.91%
360	3590	3500	2.51%
380	3720	3680	1.08%
400	4000	3950	1.25%

Dari tabel 5 dilihat bahwa setiap perubahan nilai Integer akan menyebabkan naiknya nilai RPM pada motor. Dan juga dapat dilihat bahwa RPM dari pengontrolan kecepatan motor tidak jauh berbeda antara tachometer dan antarmuka yang ada. Selisih perbedaan kecepatan motor dapat dilihat dari presentase kesalahan yang berkisar antara 0,67% sampai dengan 2,92%.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa hal yang perlu dicatat antara lain :

1. Proses eksperimen menunjukkan bahwa mengimplementasikan teknik kendali fuzzy logic pada PLC relatif mudah dilakukan dengan bantuan modul-modul fuzzy. Dengan tersedianya modul fuzzy ini sangat membantu dalam mempersingkat waktu perancangan sistem kendali..
2. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kendali *fuzzy logic* mampu mengatasi gangguan dengan baik dan mempunyai respon yang cepat.
3. Dari penelitian yang dilakukan, penggunaan PLC dalam industri tidak terbatas pada proses-proses sekuensial tetapi dapat dikembangkan sampai penerapan sistem kendali yang lebih kompleks khususnya kendali *fuzzy logic*.

REFERENCES

- [1] Allen Bradley 1999, Analog Output Module (Cat. No. 1771-OFE Series B) User Manual, Rockwell Automation Allen Bradley Inc., USA.
- [2] Bolton, W 2004, Programmable Logic Control (PLC) Sebuah Pengantar Edisi Ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta.Jamsihidi, M. *Fuzzy Logic and Control*. New Jersey: Prentice-Hall, 1993.
- [3] Ed Co., Ltd. 2006, ED-4400B DC Servo Trainer Instruction Manual, ED Co., Ltd., Seong, South Korea.
- [4] Jamsihidi, M. *Fuzzy Logic and Control*. New Jersey: Prentice-Hall, 1993.
- [5] Setiawan, I, 2006, Programmable Logic Controller (PLC) dan Teknik Perancangan Sistem Kontrol, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [6] Yan, J., Ryan, M., Power, J., 1994, Using Fuzzy Logic, Prentice Hall International Limited, UK.