

PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC DENGAN MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC KONTROLER BERBASIS PLC

Thiang, Fengky, Anies Hannawati, Resmana
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Kristen Petra
Siwalankerto 121-131, Surabaya – Indonesia
Telp : (031) 8439040, fax : (031) 8436418

E-mail :

thiang@peter.petra.ac.id
anies@peter.petra.ac.id
resmana@peter.petra.ac.id

Abstrak

Makalah ini menyajikan pengembangan sistem kendali fuzzy logic untuk pengendalian kecepatan motor dc dengan berbasis Programmable Logic Controller (PLC). PLC yang digunakan adalah PLC Omron C28H dengan spesial I/O Fuzzy Logic Unit FZ001 dan Analog I/O Unit.

Sistem yang dikendalikan adalah sebuah motor servo DC yang dikopel pada sebuah generator DC. Sebagai beban untuk generator, digunakan lampu bola lampu DC variabel. Ada dua hal yang dikendalikan secara fuzzy yaitu mengatur kecepatan putaran motor dan mengatur tegangan output generator. Eksitasi tegangan jangkar motor DC menggunakan teknik Pulse Width Modulation (PWM). Sebagai feedback dari sistem kontrol ini adalah frekuensi sinyal dari tachometer yang diubah menjadi tegangan. Frekuensi sinyal ini yang menunjukkan kecepatan motor. Feedback untuk sistem kontrol tegangan generator diambil dari tegangan output generator.

Input sistem fuzzy adalah sinyal error dan kecepatan perubahan error, sedangkan output fuzzy adalah perubahan tegangan motor dc. Baik input maupun output mempunyai 5 label membership function. Jumlah fuzzy if-then rule yang digunakan di sini sebanyak 25 buah. Desain membership function dan rule berdasarkan pada pendekatan respon sistem kontrol ber-feedback. Proses fuzzy inference dilakukan oleh Fuzzy Logic Unit FZ001.

Percobaan dilakukan dengan memberikan setting-point fungsi step untuk berbagai variasi beban serta pemberian gangguan. Pengujian dilakukan untuk melihat respons sistem pada pengendalian putaran motor maupun pada pengendalian tegangan output generator. Output respon sistem menunjukkan hasil yang cukup cepat dengan kehadiran gangguan. Pengembangan kendali fuzzy menggunakan PLC sangat cepat dan relatif mudah untuk dibuat karena modul fuzzy logic telah tersedia.

Kata kunci: *Kendali Fuzzy Logic, Programmable Logic Control (PLC), Motor-Generator*

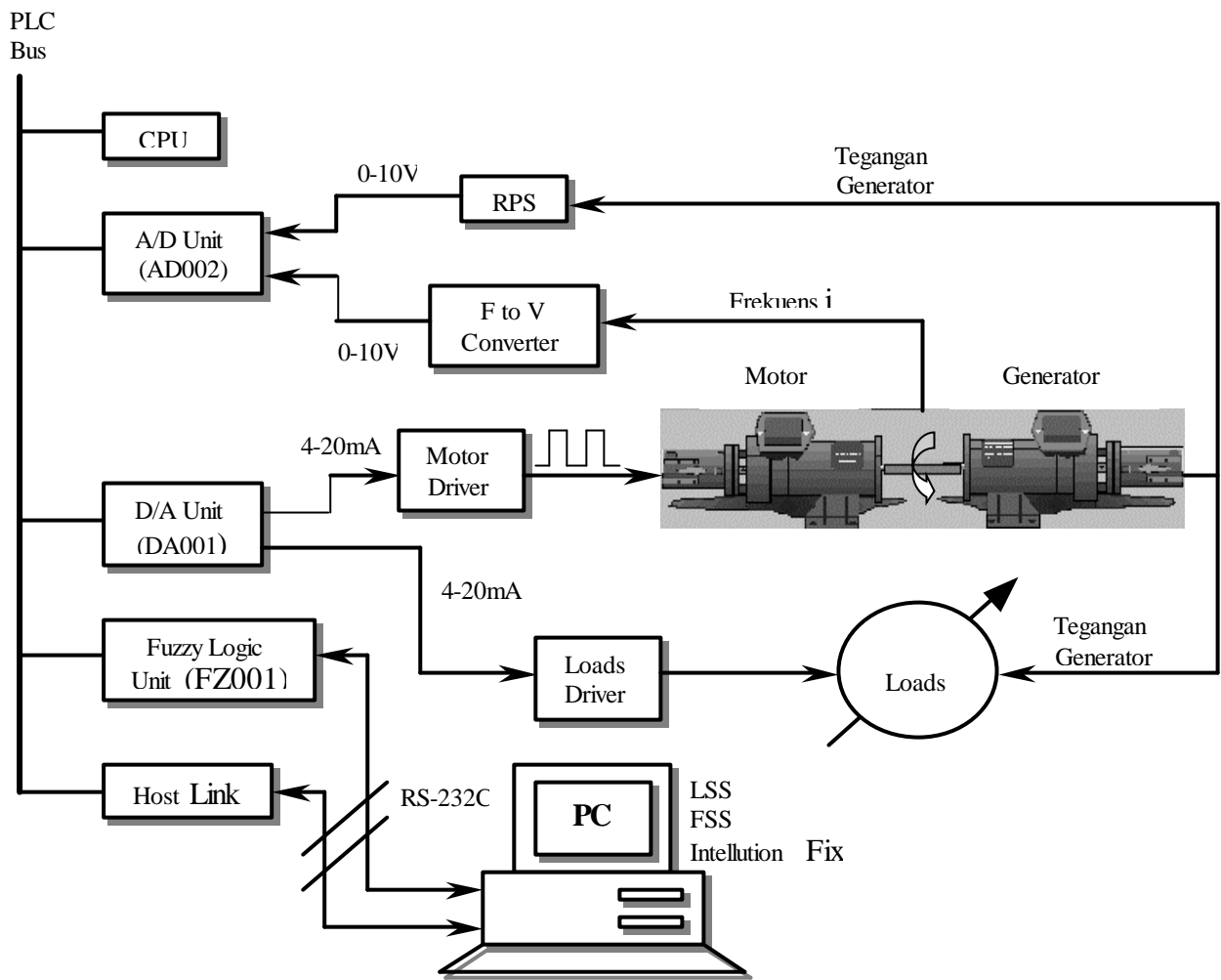
1. Pendahuluan

Saat ini Programmable Logic Controller (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. Dalam makalah ini disajikan pengembangan sistem kendali fuzzy logic untuk pengendalian kecepatan motor dc dengan berbasis PLC. Implementasi kendali fuzzy

logic pada PLC menjadi mudah dilakukan sejak tersedia modul-modul fuzzy bagi PLC dan modul-modul tersebut sangat membantu dalam mempersingkat waktu yang diperlukan untuk pengembangan sistem kendali fuzzy logic.

2. Perancangan Sistem

Perancangan sistem kendali kecepatan putaran motor servo DC ini dibagi atas dua bagian yang saling berkaitan satu dengan lainnya, yaitu perencanaan perangkat keras dan perencanaan perangkat lunak. Gambar 1 memperlihatkan blok diagram sistem pengendali kecepatan putaran motor servo DC.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Kendali 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 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 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 pulsa yang diberikan ke motor. Semakin besar *duty cycle* pulsa 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.

Rangkaian driver beban digunakan untuk menghasilkan beban generator yang variabel. Beban dari generator dalam sistem ini berupa 1 ampere 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.

b. Perangkat Lunak

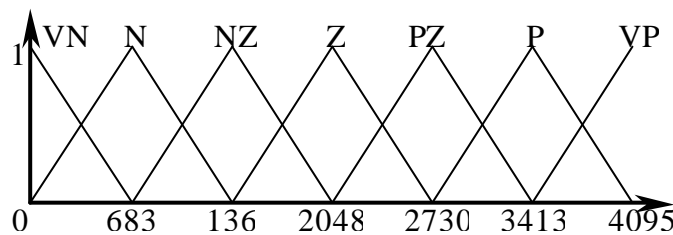
Pembuatan Membership Function dan Fuzzy If - Then Rule

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 dan kemudian dapat ditransfer ke Fuzzy

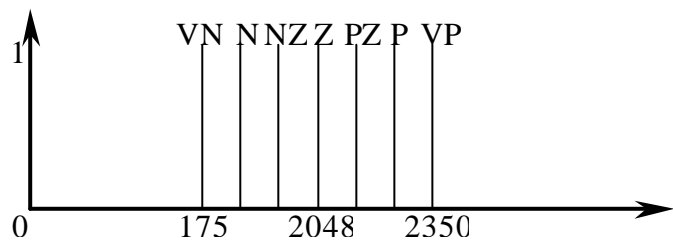
Logic Unit dengan protokol komunikasi RS -232C melalui COM1 dengan *baud rate* 9.600 bps.

Pada kontrol kecepatan motor, ada dua crisp input yaitu error kecepatan motor (S_E) dan perubahan error kecepatan motor (dS_E), sedangkan crisp output adalah perubahan level duty cycle PWM. Untuk kontrol tegangan generator, ada dua crisp input yaitu error tegangan generator (V_E) 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. Gambar 2 dan 3 menunjukkan membership function untuk input dan output yang didesain.

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 dan dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 2. Membership Function untuk Input Error dan Input Perubahan Error



Gambar 3. Membership Function untuk Output Perubahan Level Duty Cycle

		SE / VE						
		VN	N	NZ	Z	PZ	P	VP
dSe / dVe	VN	VN	VN	VN	VN	N	NZ	Z
	N	VN	VN	VN	N	NZ	Z	PZ
	NZ	VN	VN	N	NZ	Z	PZ	P
	Z	VN	N	NZ	Z	PZ	P	VP
	PZ	N	NZ	Z	PZ	P	VP	VP
	P	NZ	Z	PZ	P	VP	VP	VP
	VP	Z	PZ	P	VP	VP	VP	VP

Gambar 4. Matrik Fuzzy If-Then Rule

Perencanaan Diagram Ladder Program PLC

Algoritma fuzzy logic kontroler baik untuk kontrol kecepatan motor maupun kontrol tegangan generator adalah sama dan dapat dijabarkan sebagai berikut :

- Mengambil data pembacaan kecepatan putaran motor atau tegangan generator dari A/D Unit (AD002).
- Menghitung kesalahan kecepatan putaran motor ($SE_n = SPS + 2048 - PVS$) atau kesalahan tegangan generator ($VE_n = SPV + 2048 - PVV$). Harga 2048 merupakan harga offset.
- Menghitung perubahan kesalahan kecepatan putaran motor ($dSE = SE_n + 2048 - SE_{n-1}$) atau perubahan kesalahan tegangan generator ($dVE = VE_n + 2048 - VE_{n-1}$). Mengganti $SE_{n-1} = SE_n$ atau $VE_{n-1} = VE_n$.
- Memasukkan harga kesalahan kecepatan putaran motor (SE) dan perubahan kesalahan kecepatan putaran motor (dSE) atau harga kesalahan tegangan generator (VE) dan perubahan kesalahan tegangan generator (dVE) sebagai input proses perhitungan fuzzy.
- Mengambil output dari perhitungan fuzzy untuk kendali kecepatan putaran motor (dOS) atau kendali tegangan generator (dOV) dan kemudian dikurangi dengan offset (2048).

Selanjutnya dijumlahkan dengan output sebelumnya ($Osn = Osn - 1 + dOs$ atau $Ovn = Ovn - 1 + dOv$) dan dioutputkan ke D/A Unit (4 – 20mA).

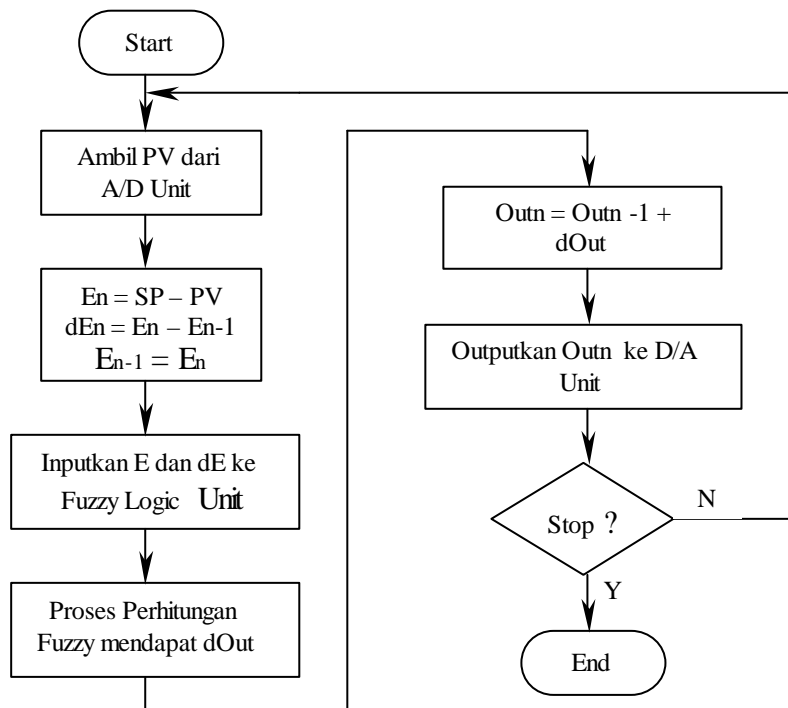
Langkah-langkah tersebut di atas dilakukan secara berulang-ulang. Diagram alir dari Algoritma tersebut dapat dilihat pada gambar 5.

3. Hasil Pengujian

Pengujian untuk sistem kontrol kecepatan putaran motor dan sistem kontrol tegangan output generator dengan logika fuzzy dibagi menjadi 3 macam pengujian, yaitu :

1. Pengujian sistem terhadap variasi setting point (SP).
2. Pengujian sistem terhadap variasi beban.
3. Pengujian sistem terhadap gangguan (disturbance), di mana gangguan yang diberikan adalah beban yang diberikan secara tiba-tiba.
4. Pengujian sistem terhadap variasi jumlah label dalam membership function.

Data hasil pengujian diambil dengan bantuan software SCADA yaitu *Intellution Fix*. Software ini berjalan di personal computer dan berkomunikasi dengan PLC melalui serial port.



Gambar 5. Diagram Alir Fuzzy Logic Kontroler dengan Fuzzy logic Unit (FZ001)

a. Pengujian Sistem terhadap Variasi Setting Point.

Kontrol Kecepatan Motor

Kontrol Kecepatan Motor

Dalam pengujian ini diambil 3 macam variasi *Setting Point* (SP) yang diberikan pada sistem. Gambar 6 menunjukkan respon sistem terhadap setting point 300 rpm, 400 rpm, 500 rpm.

Kontrol Tegangan Output Generator

Dalam pengujian ini diambil 3 nilai setting point yaitu tegangan generator 6V, 7V dan 8V. Respon sistem untuk masing-masing setting point dapat dilihat pada gambar 7.

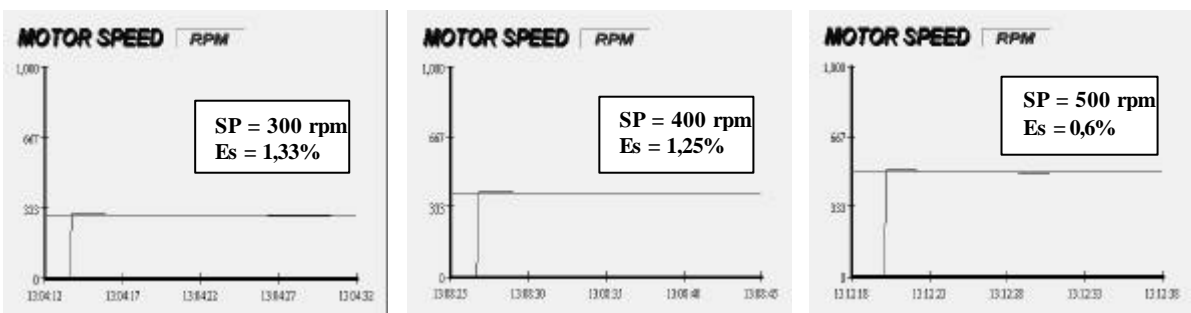
Baik untuk sistem kontrol kecepatan motor dan kontrol tegangan output generator, grafik respon sistem menunjukkan bahwa *settling time* (ts) untuk setiap SP sama cepat karena tidak ada perbedaan yang menyolok dan *steady state error* (Es) untuk setiap SP juga tidak jauh berbeda antara satu dengan yang lainnya.

Dalam pengujian ini diambil 3 macam beban yang diberikan kepada sistem dan dilihat respon sistem dengan SP yang sama terhadap pembebanan tersebut. Beban yang diberikan berupa jumlah lampu yang menyala dengan tegangan tertentu (5 volt) yang dibebankan ke generator. Dengan bertambahnya beban yang ada maka torsi untuk pemutar motor menjadi bertambah besar. Gambar 8 menunjukkan grafik-grafik respon sistem terhadap pembebanan yang diberikan.

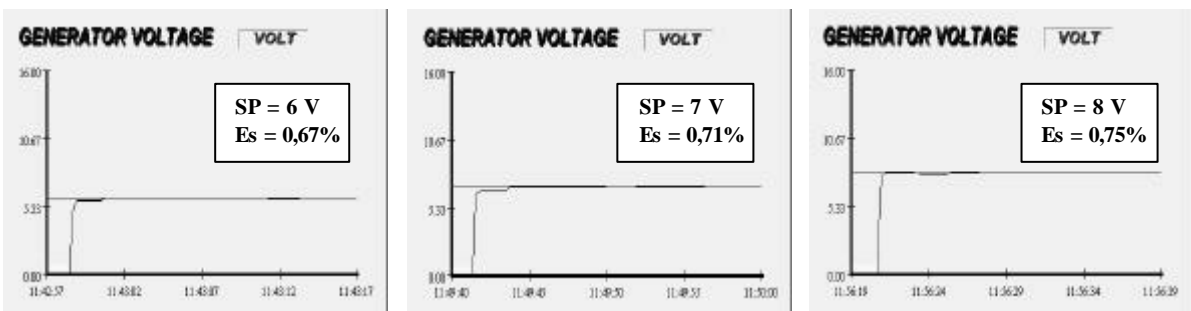
Dari grafik-grafik respon sistem terhadap pembebanan tersebut dapat dilihat bahwa *Settling Time* (ts) untuk pengujian dengan variasi beban (1 lampu, 2 lampu, 3 lampu) hampir sama cepatnya. *Steady state error* (Es) untuk setiap beban yang diberikan tidaklah jauh berbeda atau hampir sama. Sehingga dapat dikatakan sistem kendali memiliki respon yang baik.

Kontrol Tegangan Output Generator

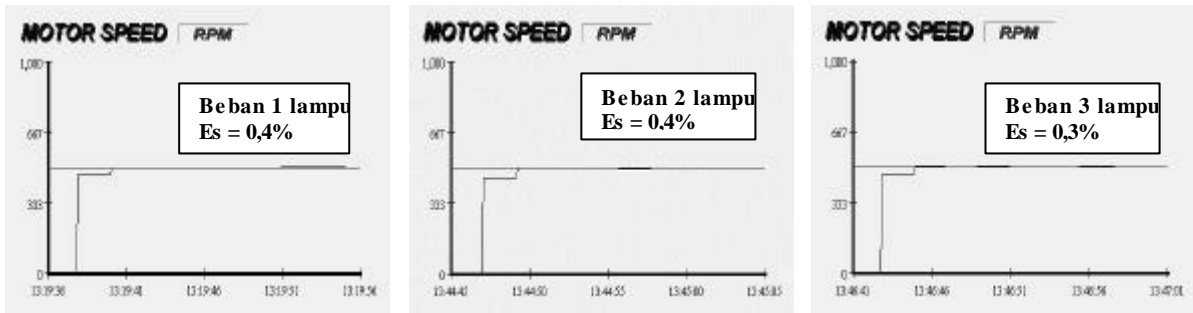
3 macam beban diujikan pada sistem yaitu 1 lampu, 2 lampu dan 3 lampu dengan tegangan 5V. *Setting Point* untuk setiap pengujian adalah sama yaitu 8V. Grafik-grafik hasil pengujian terhadap variasi beban dapat dilihat pada gambar 9.



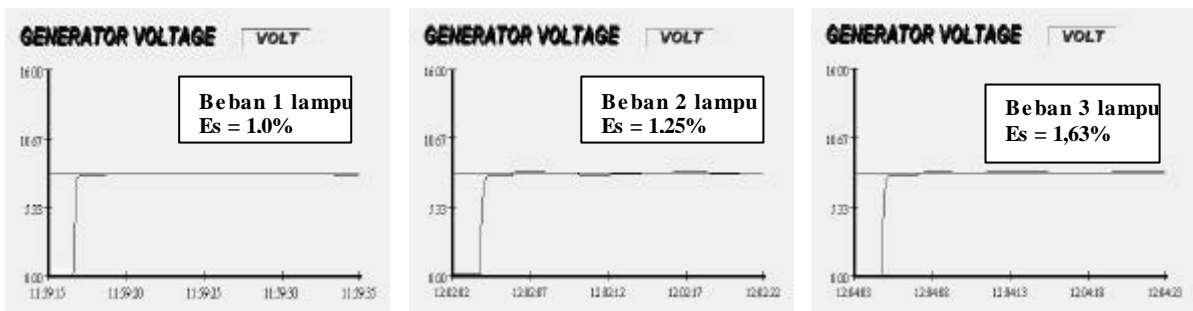
Gambar 6. Respon Sistem Kontrol Kecepatan Motor terhadap Variasi Setting Point



Gambar 7. Respon Sistem Kontrol Tegangan Output Generator terhadap Variasi Setting Point



Gambar 8. Respon Sistem Kontrol Kecepatan Motor dengan SP = 500 rpm terhadap Variasi Beban Lampu



Gambar 9. Respon Sistem Kontrol Tegangan Output Generator dengan SP = 8 V terhadap Variasi Beban

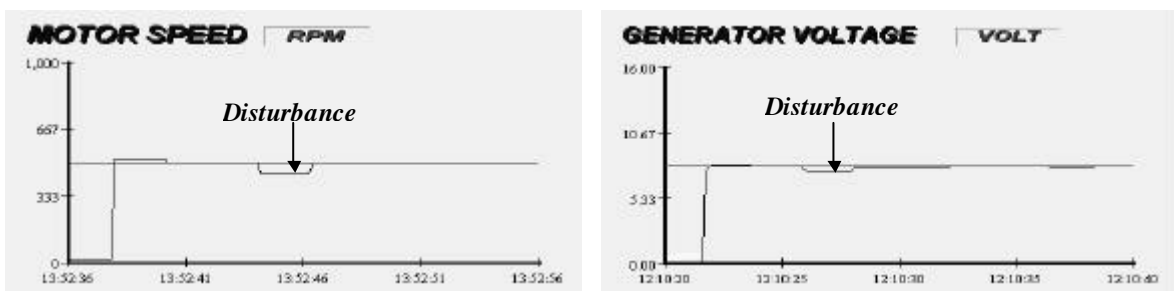
Dari grafik-grafik respon sistem terhadap variasi pembebanan tersebut menunjukkan bahwa *Settling time* (ts) untuk setiap pembebanan yang diberikan hampir sama cepatnya. *Steady state error* (Es) untuk setiap penambahan beban bertambah besar namun masih tetap relatif kecil.

c. Pengujian Sistem terhadap Gangguan (Disturbance)

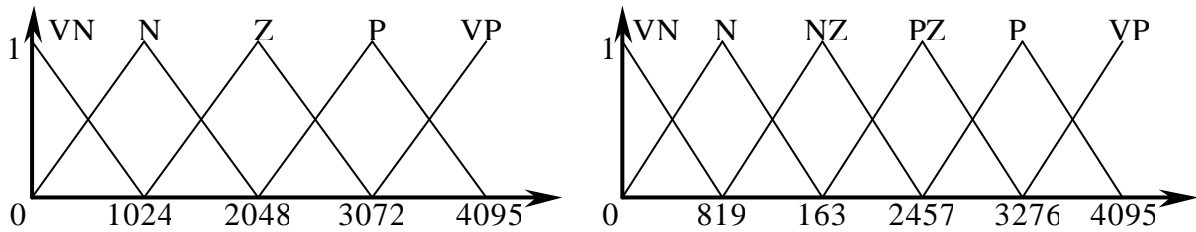
Gangguan (disturbance) diadakan dengan jalan memberikan beban secara tiba-tiba pada waktu respon sistem telah mencapai keadaan *steady state*. Gambar 10 adalah grafik yang menunjukkan aksi sistem kontrol kecepatan motor dan tegangan output generator terhadap gangguan yang terjadi. Terlihat bahwa sistem mempunyai respon cukup baik dalam mengatasi gangguan.

d. Pengujian Sistem terhadap Variasi Jumlah Label dalam Membership Function

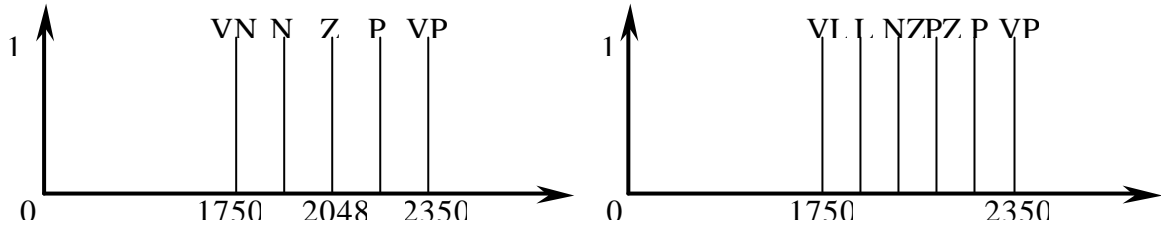
Semua hasil pengujian yang g dijabarkan sebelumnya didapatkan dari pengujian yang menggunakan membership function dengan 7 label. Pengujian juga dilakukan menggunakan membership function dengan 5 label dan 6 label. Berikut adalah membership function dan matrik rule dengan 5 label dan 6 label untuk kontrol kecepatan motor dan kontrol tegangan output generator. Grafik hasil pengujian respon sistem kontrol kecepatan motor terhadap variasi jumlah label membership function dapat dilihat pada gambar 14, sedangkan untuk sistem kontrol tegangan output generator pada gambar 15.



Gambar 10. Respon Sistem Kontrol terhadap Pemberian Gangguan



Gambar 11. Membership Function dengan 5 Label dan 6 Label untuk input error dan perubahan error

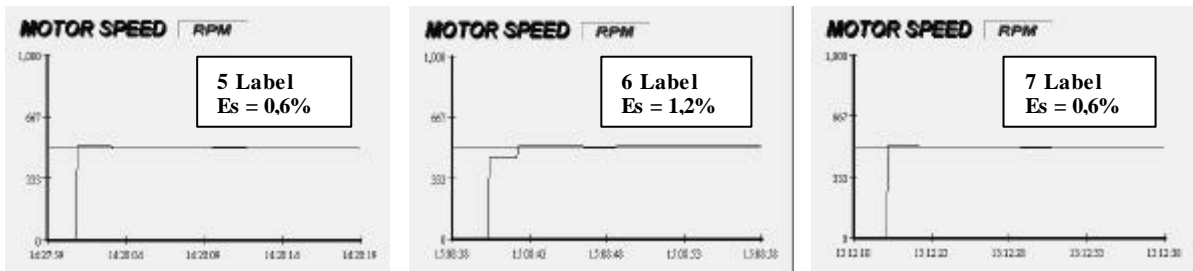


Gambar 12. Membership Function dengan 5 Label dan 6 Label untuk Output Perubahan Level Duty Cycle

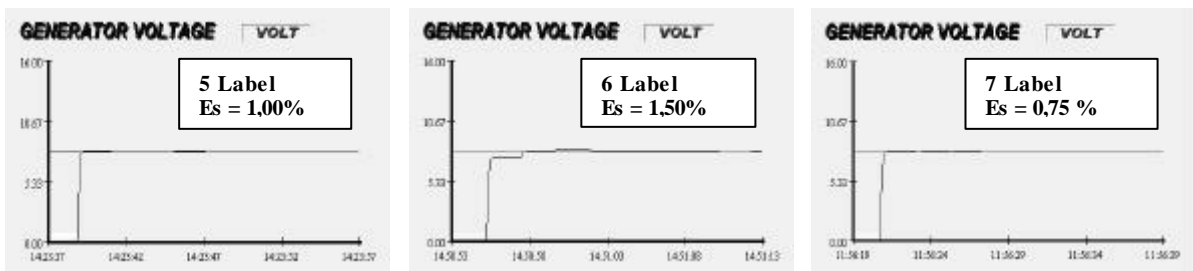
		SE / VE				
		VN	N	Z	P	VP
dSE / dVE	VN	VN	VN	VN	N	Z
	N	VN	VN	N	Z	P
	Z	VN	N	Z	P	VP
	P	N	Z	P	VP	VP
	VP	Z	P	VP	VP	VP

		SE / VE					
		VN	N	NZ	PZ	P	VP
dSE / dVE	VN	VN	VN	VN	N	NZ	PZ
	N	VN	VN	N	NZ	PZ	PZ
	NZ	VN	N	NZ	PZ	PZ	P
	PZ	N	NZ	NZ	PZ	P	VP
	P	NZ	NZ	PZ	P	VP	VP
	VP	NZ	PZ	P	VP	VP	VP

Gambar 13. Matrik Fuzzy If-Then Rule dengan 5 Label dan 6 Label



Gambar 14. Respon Sistem Kontrol Kecepatan Motor terhadap Variasi Jumlah Label dalam Membership Function dengan SP = 500 rpm



Gambar 15. Respon Sistem Kontrol Tegangan Output Generator terhadap Variasi Jumlah Label dalam Membership Function dengan SP = 500 rpm

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.

4. Kesimpulan

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

- 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.
- Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kendali fuzzy logic mampu mengatasi gangguan dengan baik dan mempunyai respon yang cepat.
- Dari penelitian dan eksperimen 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.

5. Daftar Pustaka

1. Jamsihidi, M. *Fuzzy Logic and Control*. New Jersey: Prentice-Hall, 1993.
2. *C28H Operation Manual*, Omron Co., Ltd., September 1992.
3. *SYSMAC C200H-FZ001 Fuzzy Logic Unit Operation Manual*, Omron Co., Ltd., Juni 1993
4. *SYSMAC C200H/C200HS C200H-AD002/DA002 Analog I/O Units Operation Guide*, Omron Co., Ltd., September 1995.
5. *SYSMAC C200H/C200HS C200H-AD001/DA001 Analog I/O Units Operation Guide*, Omron Co., Ltd., Februari 1993.

6. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada rekan-rekan laboratorium Sistem Kontrol dan teman-teman dosen Jurusan Teknik Elektro atas dukungan yang telah diberikan sehingga penelitian ini bisa terlaksana.