

SIMULASI KENDALI PUTARAN MOTOR DC BERBASIS LOGIKA FUZZI

Juaksa Manurung

Dosen Pendidikan Teknik Elektro FT UNIMED
Juaksa_manurung@yahoo.co.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian secara simulasi terhadap: Kendali kecepatan motor arus searah penguat medan seri berbasis logika fuzzy adalah sangat handal, yang dapat dibuktikan dengan hasil penelitian ini. Karakteristik motor arus searah yang diteliti adalah karakteristik motor terbuka yang memperlihatkan adanya waktu tunda sebesar 0,1 detik, waktu stabil sekitar 0,6 detik dan amplitudo respon hanya mencapai 0,1. Karakteristik motor tertutup memperlihatkan adanya waktu tunda sebesar 0,1 detik, waktu stabil sekitar 0,6 detik tetapi amplitudo respon tidak mencapai 0,1. Kendali kecepatan motor berbasis logika fuzzy dengan Fuzzy Assosiatif Memory (FAM) standar menghasilkan karakteristik motor yang terkendali dengan waktu tundanya 0,04 detik, akan tetapi setelah 2 detik respon belum mencapai 1, namun diduga akan stabil. Kendali kecepatan motor berbasis logika fuzzy dengan FAM termodifikasi menghasilkan karakteristik respon, dengan waktu tundanya 0,004 detik, amplitudo respon mencapai 1 tanpa *overshoot*, serta stabil hanya dalam 0,06 detik.

Kata kunci : Motor arus searah, FAM, waktu tunda, overshoot, undershoot

PENDAHULUAN

Tuntutan terhadap kualitas produksi industri pada era globalisasi dan perdagangan bebas sangat tinggi. Hasil produksi yang berbentuk barang berkualitas tinggi dimungkinkan akan lebih mampu bersaing di manca negara dibandingkan dengan hasil produksi yang kurang berkualitas. Tidak jarang terjadi barang dari suatu negara yang diekspor ke negara lain dikembalikan dengan alasan kualitas yang tidak memenuhi standar. Hal tersebut akan menimbulkan kerugian ekonomi yang sangat besar, bahkan negara pengimpor akan mencari barang sejenis dari negara lain. Kualitas produksi dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah faktor proses produksi oleh alat-alat produksi. Alat produksi yang dikontrol dengan baik umumnya akan menghasilkan produksi yang berkualitas tinggi. Sebaliknya bila tidak dikontrol dengan baik, umumnya akan menghasilkan produksi yang berkualitas rendah. Atas tuntutan tersebut, teknologi kontrol berkembang dengan pesat, pada mulanya kendali (kontrol) Proporsional-Integral-Diferensial (PID) yang menggantikan kendali secara manual sudah dapat memenuhi harapan industri. Namun seiring dengan perjalanan waktu, kendali PID tersebut dianggap kurang

handal. Dengan kata lain, kendali PID telah dianggap konvensional sehingga perlu digantikan dengan kendali berbasis *mikro processor (micro controller)*. *Microprocessor* yang dapat diprogram dapat memenuhi tuntutan industri melalui para *programmer*. Teknologi elektronika juga berkembang pesat turut menunjang teknologi *microcontroller* hingga semakin presisi dan cepat. Tidak dapat dipungkiri bahwa para industriawan telah merasa puas dengan hasil yang diperoleh. Akan tetapi negara-negara maju tetap berupaya meningkatkan kualitas hasil produksinya dengan standar yang sangat tinggi dan memberlakukannya sebagai syarat kualitas produksi barang yang sama dari berbagai negara. Para ahli dari berbagai bidang terus dituntut untuk memberi jalan keluar. Demikian juga para ahli pengendalian (kontrol) terus melakukan penelitian dan pengembangan, demi untuk memperoleh sistem pengendali yang lebih baik. Cukup banyak dana yang telah dipergunakan para peneliti demi pengembangan sistem tersebut.

Perkembangan dalam bidang kendali selanjutnya adalah kendali sistem pakar (*expert system*) dan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*), diantaranya pengaplikasian jaringan saraf tiruan (*artificial neural network*), logika fuzzy, algoritma genetika, perpaduan

jaringan saraf tiruan dengan logika fuzzy yang disebut sebagai *neurofuzzy*, bahkan perpaduan ketiganya sehingga sistem semakin baik, *real time* dan adaptif. Pada dasarnya kendali berbasis logika fuzzy sudah baik, sehingga untuk perolehan kualitas produksi yang tinggi layak untuk digunakan. Banyak para pakar kontrol membuktikan kehandalan kendali berbasis logika fuzzy. Imardjoko (1995) menerapkan logika fuzzy dalam mengendalikan dan meredam osilasi daya reaktor nuklir pada variasi perubahan daya yang tiba-tiba. Tidak terjadi *overshoot* maupun *undershoot* pada respon sistem reaktor, meskipun dilakukan penambahan dan pengurangan daya secara tiba-tiba. Di samping hal tersebut, hasil pengendalian memperlihatkan bahwa respon yang hampir *real time*. Lebih lanjut Wahab (1996) membandingkan unjuk kerja pengendali PID dengan pengendali berbasis logika fuzzy dalam mengendalikan temperatur campuran cairan didalam tangki. Pengendali berbasis logika fuzzy menghasilkan *overshoot* yang jauh lebih kecil, *rise time* dan waktu stabil yang lebih singkat dibanding dengan pengendali PID. Lebih lanjut dikatakan dalam melakukan *tuning* parameter PID pada pengendali PID akan sulit, sekalipun dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols.

Pangaribuan (2000) menerapkan kendali berbasis logika fuzzy dalam mengendalikan efek peracunan *Xenon Build Up* pada reaktor nuklir Kartini BATAM-Yogyakarta. Efek peracunan tersebut dapat dikurangi sekitar 70%, sehingga sangat menguntungkan dari segi ekonomi. Lebih lanjut direkomendasikan bahwa pengendali berbasis logika fuzzy adalah handal sekalipun pada sistem yang sangat sensitif.

Berdasarkan hasil-hasil penelitian tersebut di atas, diduga pengendali berbasis logika fuzzy akan mampu menghasilkan respon sistem yang baik, bila diterapkan pada pengendalian putaran motor arus searah. Motor arus searah sangat banyak dipergunakan di industri-industri sebagai *prime mover* alat produksi, sehingga diharapkan sangat bermanfaat untuk kendali / kontrol putaran motor dc, dan output motor dc akan stabil, sehingga

hasil produksi dari suatu perusahaan yang mempergunakan motor dc akan meningkat kualitasnya.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat unjuk kerja kendali / kontrol berbasis logika fuzzy dalam mengendalikan putaran motor arus searah. Dan akan diperoleh respon motor dc, yaitu : *dead time* (*td*), *rise time* (*tr*), *overshoot*, *undershoot* dan *stabil time*

Motor yang dipergunakan adalah motor arus searah penguat medan seri, serta penelitian dilaksanakan dengan simulasi : menggunakan program MATrix LABoratory (MATLAB) versi 6,2 dan simulink MATLAB tersebut memiliki *Fuzzi Tool Box* dan dapat bekerja sama dengan simulink

METODE PENELITIAN

Untuk mengatur/mengontrol kecepatan motor dc dengan mempergunakan *logika fuzzy* secara simulasi *Simulink*. *Simulink* adalah program aplikasi yang mengandung sejumlah fungsi berbentuk simbol yang siap bekerja dengan cara menghubungkan (*link*) setiap simbol tersebut. Ada 6 kelompok simbol yang tersedia sebagai *library* simulink, yaitu : *Source*, *sink*, *discrete*, *liniar*, *non liniar*, *connections*. *Source library* adalah simbol atau fungsi yang berfungsi sebagai masukan untuk sistem, seperti : *constant*, *signal generator*, *step function*, *ramp*, *sinus wave repeating*, *sequence*, *discrete*, *pulse generator*, *chirp signal*, *clock*, *digital clock*. *Discrete library* adalah fungsi-fungsi diskrit seperti : *unit delay*, *discrete-time integrator*, *zero order hold*, *first order hold*, *discrete state-space*, *discrete filter*. *Linier library* adalah merupakan fungsi linier seperti : *gain*, *sum*, *integrator*, *transfer function*, *state space*, *zero pole*, *derivative*, *dot product*. *Non linier library* adalah merupakan fungsi non linier seperti : *absolute*, *trigonometric function*, *math function*, *relational operator*, *fuzzy logic function*. *Connection library* adalah merupakan fungsi penghubung yang terdiri dari : *mux*, *demux*, *display*, *to work space*, *stop simulation*.

Untuk simulasi kendali kecepatan putaran motor arus searah penguat medan seri, yang dipergunakan adalah : *simbol constant*

function, step function, sum function, mux, scope, to work space, dan fuzzy logic system. Pada dasarnya constant function dengan step function adalah sama, bila amplitudo fungsi step sebesar satu. Fungsi step merupakan set point pada simulasi. Fungsi sum dipergunakan sebagai proses pengurangan nilai set point dengan nilai umpan balik, juga sebagai proses pengurangan error sesaat dengan delay error. Mux merupakan switch yang bekerja melakukan masukan secara bergantian. Transfer function adalah blok fungsi transfer rasio kecepatan motor dengan tegangan masukan. Fungsi unit delay adalah nilai error yang tertunda sebesar Δt dari t sesaat. Scope adalah blok yang menampilkan grafik tampilan hasil simulasi. To work space adalah blok tampilan data numeris hasil simulasi pada work space Matlab.

Dengan menghubungkan blok fungsi secara benar, kemudian menjalankan proses simulasi dengan menekan **Start/Pause** pada windows simulasi maka simulasi bekerja dan menghasilkan respon sistem yang diharapkan.

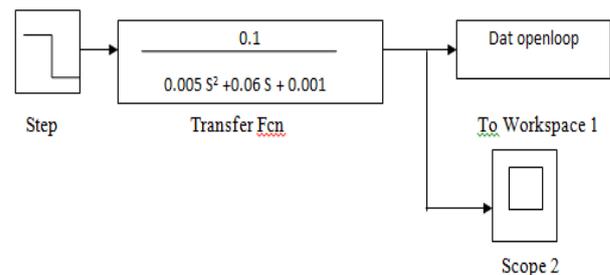
Pada gambar 1, diperlihatkan blok pengujian respon motor dc kalang terbuka dengan menggunakan beberapa fungsi-fungsi simulink. Pada gambar .2, diperlihatkan blok pengujian respon motor dc kalang tertutup dengan menggunakan fungsi-fungsi simulink. Pada gambar 3, diperlihatkan blok simulasi pengaturan kecepatan motor dc penguat medan seri.

Pada gambar 4. ditampilkan respon kecepatan motor dc kalang terbuka hasil simulasi dengan menjalankan gambar 5. Dari grafik respon tersebut dapat diketahui terjadi waktu tunda sebesar 1 detik, serta amplitudo respon hanya 0,1. Pada gambar 5. ditampilkan respon kecepatan motor dc kalang tertutup hasil simulasi dengan menjalankan gambar 6. Dari grafik respon tersebut dapat diketahui terjadi waktu tunda selama 1 detik, serta amplitudo respon tidak mencapai 0,1. Pada respon kalang tertutup tersebut, nilai setpoint diberi sebesar 1 sementara amplitudo respon tidak mencapai

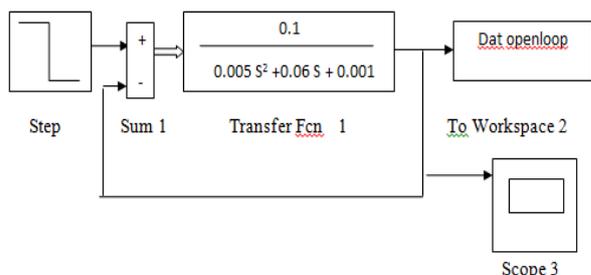
0,1 sehingga sangat jauh dari yang diharapkan. Sejalan dengan hal tersebut sangat dibutuhkan pengendalian atas kecepatan motor tersebut, sehingga amplitudo respon dapat mencapai nilai 1 dan tanpa waktu tunda.

Pada gambar 1, blok to workspace1 diberi nama datopenloop, yaitu data respon kecepatan motor kalang terbuka. Pada Gambar 2, blok to workspace2 diberi nama datopenloop, yaitu data respon kecepatan motor kalang tertutup. Pada gambar .3, blok to workspace3 diberi nama daterrorfuz, yaitu data laju perubahan error. Blok to workspace4 diberi nama datoutfuz, yaitu data respon kecepatan motor. Blok to workspace5 diberi nama datdeleerrorfuz, yaitu data error.

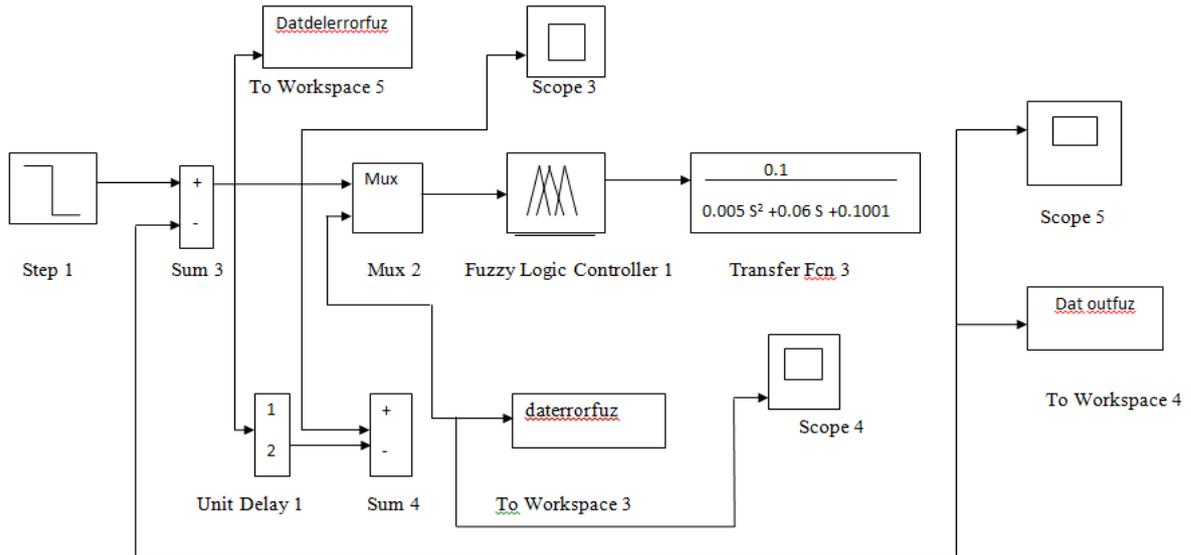
Dari ketiga gambar 1, gambar 2 dan gambar 3 tersebut dapat dilihat bahwa scopel menampilkan grafik respon kecepatan motor kalang terbuka. Scope2 menampilkan grafik respon kecepatan motor kalang tertutup. Scope3 menampilkan grafik error. Scope4 menampilkan grafik laju perubahan error. Scope5 menampilkan respon keluaran hasil pengendalian.



Gambar 1. Blok Simulasi Respon Kecepatan Motor Dc Kalang Terbuka



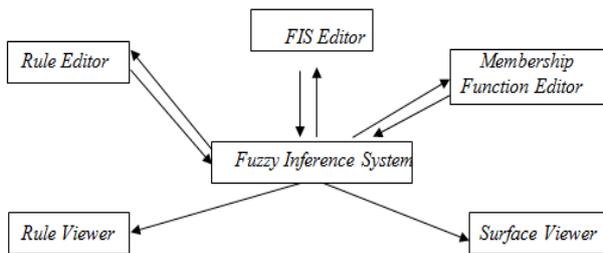
Gambar 2. Blok Simulasi Respon Kecepatan Motor DC Kalang Tertutup



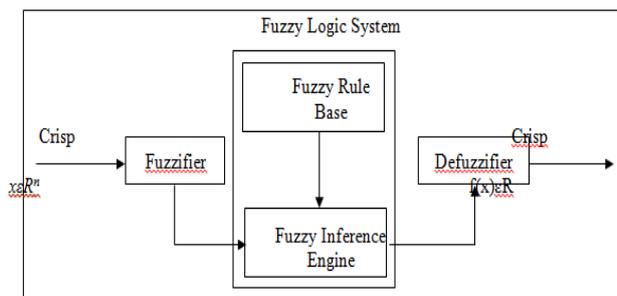
Gambar 3. Blok Simulasi Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis Logika Fuzzi

Aplikasi Fuzzy Logic Tool Box

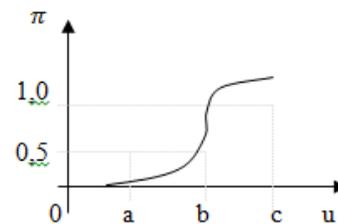
Pada Gambar 3 dapat dilihat blok Fuzzy Logic Controller1. Pada blok tersebut simulasi dilengkapi dengan 3 buah editor yaitu: *Rule Editor*, *FIS editor* dan *Membership Function Editor*, serta dilengkapi juga dengan *Rule Viewer* dan *Surface Viewer*. Pada Gambar 4 diperlihatkan hubungan fungsional kelima komponen tersebut.



Gambar 4. Blok Hubungan Fungsional Komponen FIS



Gambar 5. Konfigurasi Dasar Sistem Fuzzy



Gambar 6 .Fungsi -S

Pada gambar 5. tampilkan jendela *Fuzzy Inference System* (FIS) setelah dinyatakan ubahan yang mempengaruhi dan dipengaruhi. Ubahan yang mempengaruhi adalah *error* dan laju perubahan *error* (*delta error*), serta ubahan terpengaruh adalah kecepatan motor sebagai keluaran. Pada gambar 6. diperlihatkan jendela FIS setelah nilai *range* dan sub keanggotaan dinyatakan. Dengan mengambil *range error*, *range delta error* dan *range respon* kecepatan bernilai - 1 hingga 1, maka dijadikan menjadi 7 sub himpunan keanggotaan, yaitu : Positif Besar (PB), Positif Sedang (PS), Positif Kecil (PK), Nol (ZO), Negatif Kecil (NK), Negatif Sedang (NS), Negatif Besar (NB), serta menerapkan fungsi delta untuk memperoleh derajat keanggotaan (*degree of membership function*).

Dalam gambar.7 dapat diketahui bahwa aturan implikasi yang dipergunakan adalah *Mini Rule* dari Mamdani, sehingga aturan im-

plikasi yang dipergunakan adalah *Minimim Implication*.

Artinya :

If error (ϵ) isadd delta_error ($\Delta\epsilon$) is then respon is

Atau :

Jika error (ϵ) adalah dan delta error ($\Delta\epsilon$) adalahmaka respon adalah Nilai parameter kedua ubahan error dan delta_error adalah sebagai berikut :

- NB = [-1,333 - 1 -0,6667 0]
- NS = [-1 -0,6667 -0,3333 0]
- NK = [-0,6667 -0,3333 -5,5551e-017 0]
- ZO = [-1,125 0 0,125 0]
- PK = [-5,551e-017 0,3333 0,6667 0]

$$PS = [0,3333 \ 0,6667 \ 1 \ 0]$$

$$PB = [0,6667 \ 1 \ 1,333 \ 0];$$

Nilai parameter respon kecepatan motor sebagai keluaran adalah :

$$NB = [-1,33 \ -1,1 \ -0,667 \ 0]$$

$$NS = [-1 \ -0,7667 \ -0,3333 \ 0]$$

$$NK = [-0,661 \ -0,428 \ 0,00529 \ 0]$$

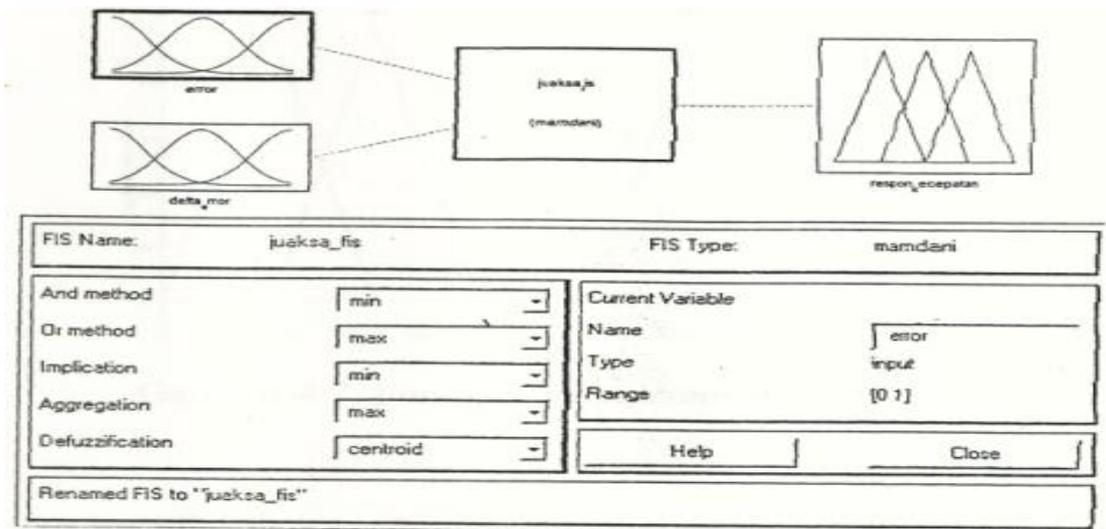
$$ZO = [-0,1 \ 0 \ 0,1 \ 0]$$

$$PK = [-5,551e-017 \ 0,433 \ 0,6667 \ 0]$$

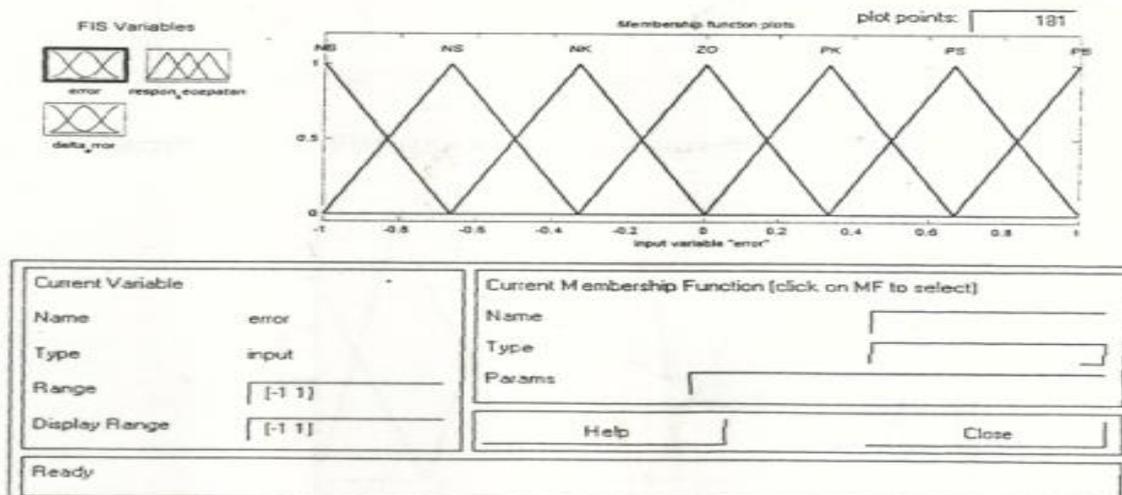
$$PS = [0,3333 \ 0,7667 \ 1 \ 0]$$

$$PB = [0,672 \ 1,01 \ 1,44 \ 0]$$

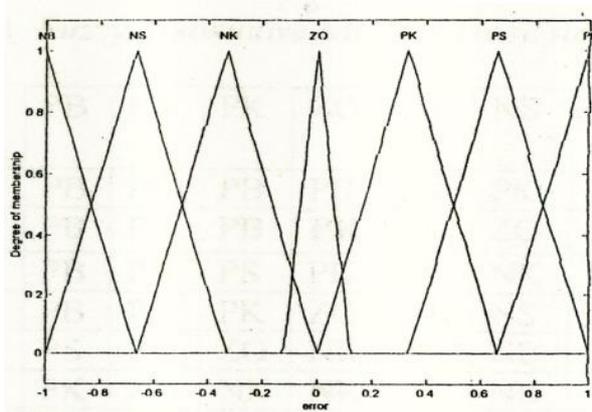
Gambar fungsi keanggotaan masing-masing error, delta_error dan respon kecepatan sebagai keluaran dapat dilihat pada gambar 9, gambar 10, dan gambar 11.



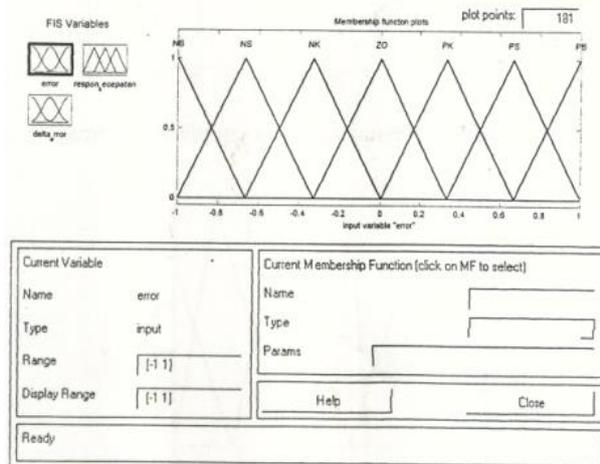
Gambar 7. Jendela Fuzzy Inference System dengan Ubahan Pengendalian



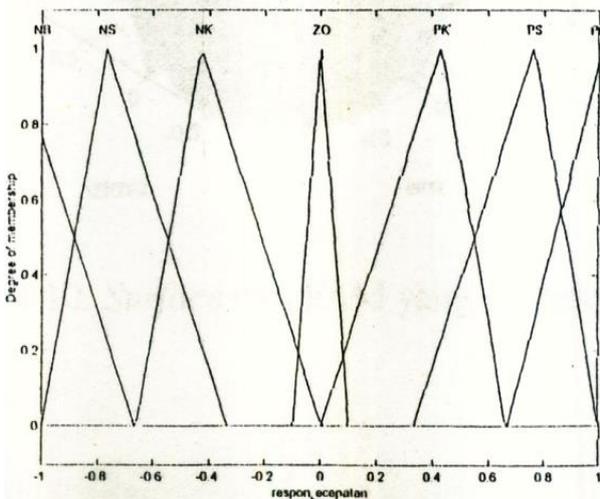
Gambar 8. Jendela Fuzzy Inference System dengan Range – 1 hingga 1



Gambar 9. Fungsi Keanggotaan Error



Gambar 10. Fungsi Keanggotaan Delta Error



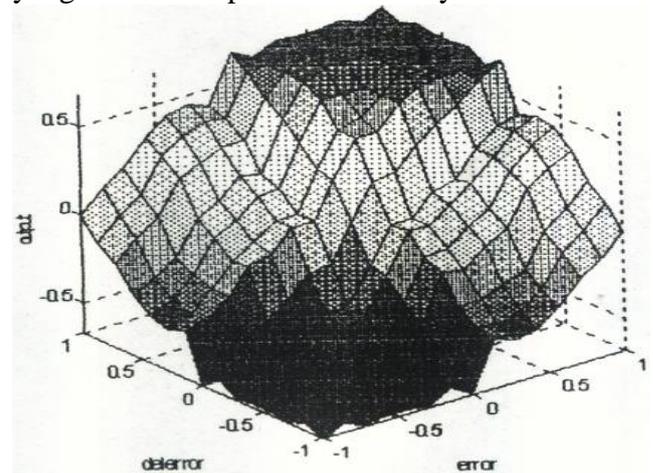
Gambar 11. Fungsi keanggotaan respon kecepatan motor

FAM yang dipergunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel .1. Fuzzy Assosiative Memory Hasil Simulasi

$\Delta\varepsilon$	ε						
	PB	PS	PK	ZO	NK	NS	NB
PB	PB	PB	PB	PB	PS	PK	ZO
PS	PB	PB	PB	PK	PK	ZO	NK
PK	PB	PB	PS	PK	ZO	NK	NS
ZO	PB	PS	PK	ZO	NK	NS	NB
NK	PS	PK	ZO	NK	NS	NB	NB
NS	PK	ZO	NK	NK	NB	NB	NB
NB	ZO	NK	NS	NB	NB	NB	NB

Dari Tabel 1 tersebut diatas terjadi perubahan kecil, namun dampaknya sangat besar. Pada gambar 12. diperlihatkan *surface* dari FAM yang dipergunakan dengan nilai parameter yang telah ditampilkan sebelumnya.

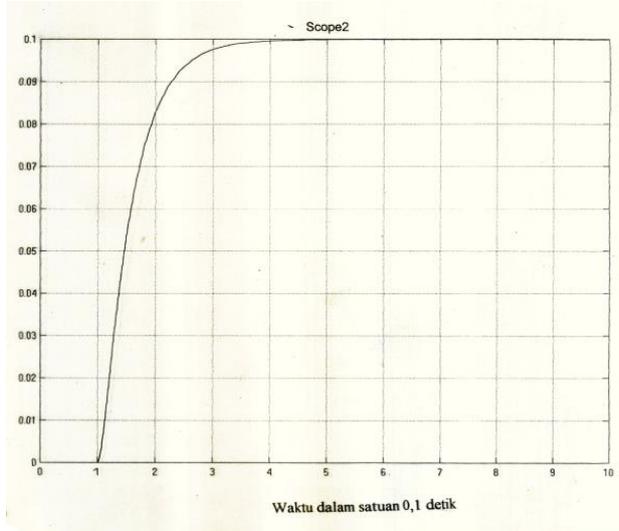


Gambar 12. Surface dari FAM yang Dipergunakan

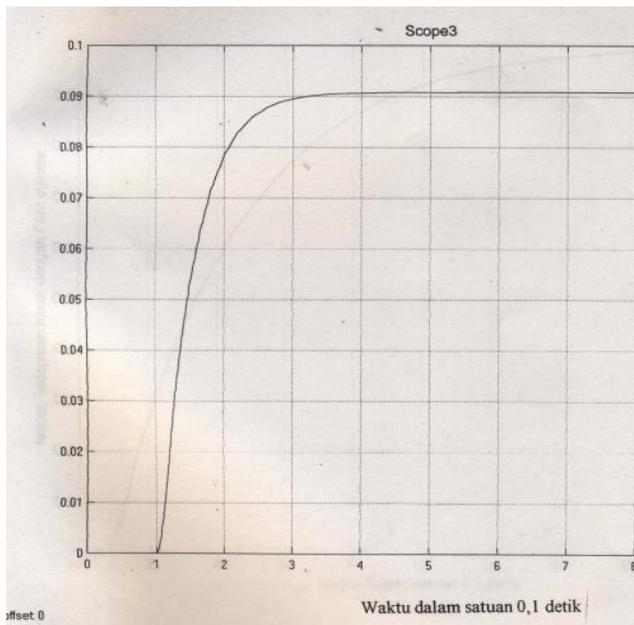
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN Hasil Penelitian

Dengan menetapkan nilai parameter motor sebagai berikut :
 $J = 0,01$; $b = 0,1$; $K = 0,01$; $R = 1$, dan $L = 0,5$.
 Maka diperoleh respon kecepatan motor kalang terbuka pada gambar 13. dan grafik respon kecepatan motor kalang tertutup pada gambar 5.2. Dari kedua gambar tersebut dapat

diketahui bahwa dead time yang dialami adalah 0,1 detik. Respon kecepatan motor kalang terbuka hanya mencapai amplitudo 0,1; sedangkan respon kecepatan motor kalang tertutup tidak mencapai 0,1. Dari kedua gambar tersebut diperoleh waktu stabil setelah 0,6 detik.



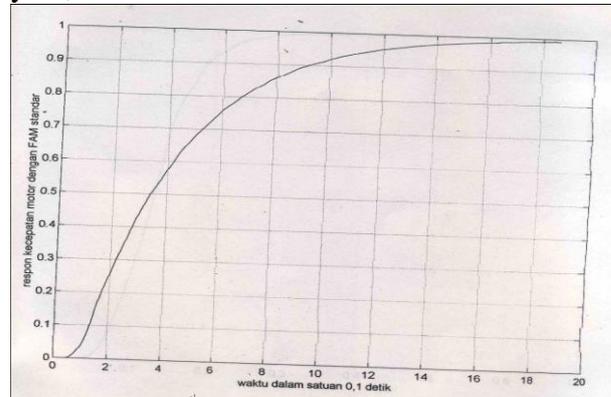
Gambar 13. Respon Kecepatan Motor Kalang Terbuka



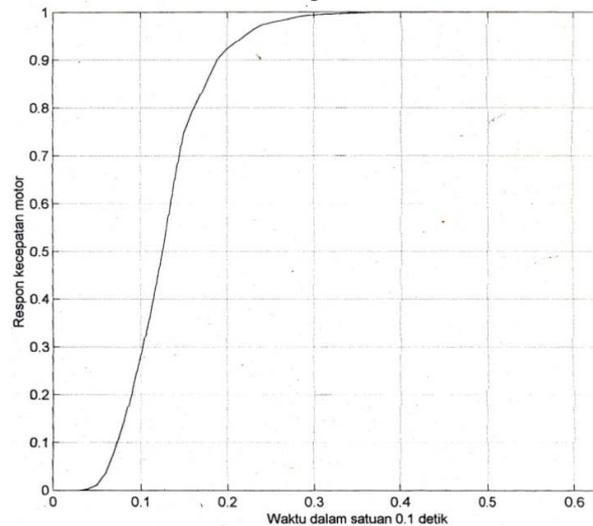
Gambar 14. Respon Kecepatan Motor Kalang Tertutup

Dengan menggunakan kendali berbasis logika fuzzy dengan FAM standar serta tanpa dilakukan perubahan nilai membership, dapat diketahui respon kecepatan motor pada gam-

bar 15. Dead time respon tersebut 0,04 detik, akan tetapi sampai 2 detik, respon belum stabil dan belum mencapai nilai set point. Dengan menggunakan kendali berbasis logika fuzzy dengan FAM yang dimodifikasi, dapat diketahui respon kecepatan motor pada gambar 16 Dead time respon tersebut hanya 0,004 detik, tanpa over shoot serta stabil setelah hanya 0,06 detik.



Gambar 15. Respon Kecepatan Motor Hasil Pengendali Berbasis Logika Fuzzi dengan FAM Standar



Gambar 16. Respon Kecepatan Motor Hasil Pengendalian Berbasis Logika Fuzzi dengan FAM Termodifikasi

Pembahasan

Berdasarkan hasil-hasil simulasi yang telah diperoleh, dapat diketahui bahwa kendali berbasis logika fuzzy adalah handal, meskipun dengan hanya menggunakan FAM standar. Akan tetapi kendali berbasis logika fuzzy ada-

lah bersifat kasus per kasus, yang artinya adalah setiap terjadi perubahan *plant* yang akan dikendalikan maka aturan (*rule*) yang dipergunakan harus diubah serta fungsi keanggotaannya juga berubah. Khususnya dalam studi kasus terhadap motor arus searah penguat medan seri yang mempunyai fungsi transfer seperti yang telah diteliti dalam studi ini, maka kendali berbasis logika fuzzy dengan FAM standar diduga dapat menangani pengaturan kecepatan motor.

Sejalan dengan hasil simulasi yang telah dilakukan, bahwa *dead time* respon kecepatan dengan kendali berbasis logika fuzzy dengan FAM termodifikasi hanya 0,004 detik dan stabil time dalam 0,06 detik. Dapat dikatakan bahwa respon hasil pengendalian tersebut hampir *real time*. Dengan kata lain bahwa respon hasil pengendalian adalah sangat cepat, sehingga semakin memperkuat pernyataan tentang aplikasi logika fuzzy dalam pengendalian akan menghasilkan respon yang sangat baik.

Penelitian dalam kasus ini, belum memperhitungkan adanya gangguan berupa derau (*noise*), sebagai mana biasanya yang dijumpai pada pengendali yang diaplikasikan pada benda sebenarnya. Sejalan dengan hal tersebut, diharapkan pada penelitian-penelitian selanjutnya, kiranya juga menerapkan adanya gangguan berupa derau, misalnya saja derau putih (*white noise*).

Penelitian selanjutnya juga diharapkan kiranya dapat mensimulasikan kendali berbasis logika fuzzy yang adaptif, sehingga dapat diterapkan pada kondisi gangguan yang ada tanpa menimbulkan kekhawatiran atas kehandalannya.

Penelitian ini adalah penelitian yang sangat awal sekali, akan tetapi diharapkan dapat bermanfaat sebagai penunjang untuk penelitian-penelitian selanjutnya, khususnya di Sumatera Utara yang masih jarang membicarakan aplikasi logika fuzzy dalam berbagai bidang termasuk dalam pengendalian.

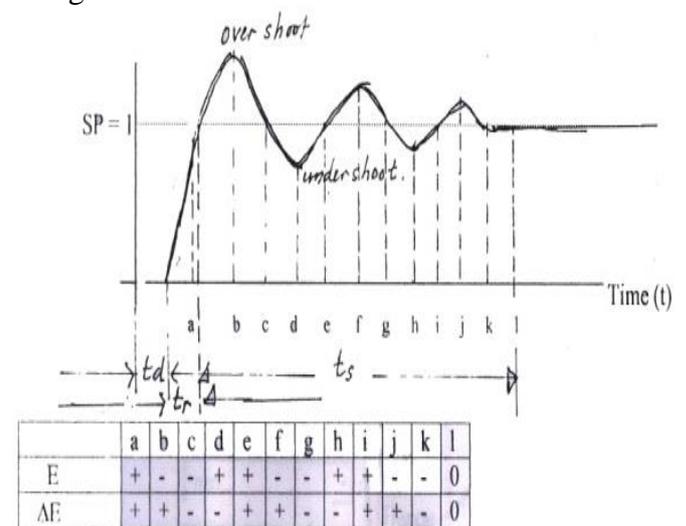
Secara teoritis yang dibuktikan hasil simulasi yang telah dilaksanakan, dapat dinyatakan bahwa kendali berbasis logika fuzzy adalah handal, serta dapat dipertanggung jawab-

kan secara empiris. Sejalan dengan hal tersebut, adalah sangat menarik bila dilakukan penelitian-penelitian yang lebih mendalam. Kelemahan yang timbul dalam pengendalian berbasis logika fuzzy tersebut adalah, dalam upaya mendapatkan FAM dan nilai-nilai fungsi keanggotaannya, karena hanya dapat dilakukan dengan coba-coba sehingga banyak menghabiskan waktu dan menuntut kesabaran yang besar.

Sebaliknya banyak para pakar mengatakan bahwa kendali berbasis logika fuzzy sangat menguntungkan, karena tidak selalu menuntut persamaan matematik yang rumit. Keuntungan tersebut boleh jadi juga diperoleh karena penentuan FAM dapat dilakukan dengan pasangan data-data *input* dan *output*, bahkan dari pengalaman para operator dan para ahli.

Respon Sistem dan Kondisi E (*Error*) dan ΔE (Laju Perubahan *Error*). Pada gambar di bawah ini diperlihatkan respon suatu system yang mengalami *over shoot*, *undershoot*, serta teredam sehingga diperoleh kondisi nilai *error* dan laju perubahan *error* seperti yang diperlihatkan pada gambar 17 di bawah ini.

Berdasarkan hasil simulasi dan kajian implikasi yang telah diuraikan sebelumnya, dapat disimpulkan hal-hal berikut Kendali kecepatan motor arus searah berbasis logika fuzzy dapat dinyatakan *real time*, serta tanpa mengalami overshoot



Gambar 17. Kecepatan Motor DC Berbasis Logika Fuzzy

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, diberikan simpulan: (1) Kendali berbasis logika fuzzy adalah handal dan dapat diterapkan untuk pengendalian berbagai *plant*, hanya saja untuk kasus per kasus, (2) Secara teoritis, hasil penelitian ini memperkuat teori-teori sebelumnya yang menyatakan kehandalan kendali berbasis logika fuzzy, (3) Secara praktis, hasil penelitian ini dapat dipergunakan untuk dasar penelitian-penelitian selanjutnya yang lebih mendalam.

Saran

Saran yang dikemukakan antara lain : (1) Untuk penelitian selanjutnya yang lebih mendalam, diharapkan mensimulasikan pengaruh derau atas respon kendali berbasis logika fuzzy, dan (2) Oleh karena penelitian ini masih studi awal, diharapkan pula penelitian selanjutnya untuk sistem kendali berbasis logika fuzzy yang adaptif, bahkan dengan menggabungkannya dengan jaringan saraf tiruan

DAFTAR PUSTAKA

- Dorf Richard C. (alih bahasa Farid Ruskanda). (1980). *Sistem Pengaturan*. Jakarta : Erlangga.
- Driankov D., Hellen Doorn, M. Reinfrank. (1992). *An Introduction to Fuzzy Control. USA*: Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Fitzgerald A.E. Kingsley C.Jr., Umans S.D. (1986). *Electric Machinery*. USA : Mc Graw Hill Inc.
- Gunterus Frans. (1994), *Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian proses*. Jakarta : P.T.Gramedia.
- Gulley Ned J., S. Roger Jang (1995). *Fuzzy Logic Tool Box User Guide for Use With Matlab*. USA: The Matworks, Inc.
- Imardjoko Yudi Utomo. (Agustus 1995). *Advanced Control System in Nuclear Reactor Operation*. UGM : Media Teknik No. 2 Tahun XVIII.
- Jadeh Lofti A. (Mei 1996). *Fuzzy Logic = Computing with Words*. IEEE Trans. On Fuzzy System, Vol. 4, No.2.
- Jiang Tao, Yao Li. (February 1996). *Generalized Defuzzification Strategies and Their Parameter Learning Procedures*. IEEE Trans. On Fuzzy System, Vol.4, No.1.
- Kim Hyun Mun. (February 1995). *Fuzzy Basis Functions : Comparison with On the Basis Function*. IEEE Trans. On Fuzzy Systems Vol.3, No.2.
- Ogata Katshuhiko (alihbahasa : Edi Laksono). (1997). *Teknik Kontrol Otomaiik*. Jakarta : Erlangga.
- PangaribuanWanapri. (2000). *Kendali Efek Peracunan Xenon Build Up pada Reaktor Nuklir*. Tesis. Yogyakarta : UGM.
- Runkler Thomas. (February 1997). *Selection of Appropriate Defuzzification Methods Using Application Specific Properties*. IEEE Trans. On Fuzzy Systems. Vol.5 No.1.
- Sen R.C. (1989). *Principles of Electric Machines and Power Electronic*. Singapore : John Wiley & Sons.
- WahabWahidin. (1996). *Aplikasi Kendali Logika Fuzzy Untuk Pengendalian proses*. Makalah Seminar Nasional Sistem Kendali Pada Era Globalisasi. Yogyakarta: Teknik Elektro UGM.
- Yan Jun, at all. (1994) *Using Fuzzy Logic*. Cambridge : Prentice Hall International.