

Pengaturan Kecepatan Motor DC Brushless Menggunakan Kontroller Fuzzy PI

Kholis Nur Faizin
Program Studi Mesin Otomotif
Politeknik Negeri Madiun
Madiun, Indonesia
kholis@pnm.ac.id

Mohammad Erik Echsony
Program Studi Perkeretaapian
Politeknik Negeri Madiun
Madiun, Indonesia
erik_sony@pnm.ac.id

Abstrak—Karakteristik motor induksi ialah kecepatan putar yang merupakan fungsi dari frekuensi sumber listrik dan slip motor. Secara umum, jumlah catu daya listrik selalu konstan dan slip motor berubah sebagai akibat dari perubahan daya dan torsi, sehingga laju motor induksi harus dikontrol. Permasalahan tersebut membuat respon tidak stabil. Kontroler Fuzzy PI mempunyai sifat yang efektif pada saat system bersifat non-linear yang kompleks. Kontroler ini dirancang untuk mengupdate parameter-parameter logika fuzzy secara online sehingga output dari system lebih kokoh dari gangguan. Metode ini adalah pilihan yang sangat tepat dalam pengaturan kecepatan motor induksi dengan berubahnya beban terhadap waktu. Teknik pemodelan dalam penelitian ini adalah dengan mempertimbangkan state pada plant. Ini menempatkan persamaan menjadi linier sehingga diperoleh persamaan SISO. Metode Fuzzy PI mampu menurunkan nilai percent overshoot, setting time lebih baik dan aksi kontrol yang lebih smooth di bandingkan dengan metode yang lainnya.

Kata kunci—six step commutation hybrid fuzzy PI; motor DC brushless; fuzzy logic.

I. PENDAHULUAN

Dalam proses industri banyak yang menggunakan motor induksi sebagai penggerak dalam proses industri, Motor induksi memiliki konstruksi yang kuat dan sederhana serta estimasi biaya perawatan yang lebih murah dibandingkan motor jenis lainnya. Motor telah digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti penggerak kereta listrik, rangka beban (crane), dan pompa air. menurut B. L. Theraja dan A. K. Theraja pada buku “Electrical Technology Volume I: Basic Electrical Engineering”, Pengaturan dengan mengendalikan frekuensi sumber pada stator lebih mudah dilakukan karena tidak merubah konstruksi motor yang ada [1].

Motor induksi memiliki karakteristik kecepatan yang merupakan fungsi dari frekuensi catu daya dan slip motor. Umumnya frekuensi sumber listrik yang tersedia adalah konstan, dan slip motor berubah ubah tergantung daya dan torsi beban, tetapi pengaturan torsi dan beban mempunyai permasalahan yang juga sulit dilakukan. Sehingga dibutuhkan suatu metode khusus yang mampu mengendalikan kecepatan motor induksi dengan stabil walaupun beban berfluktuasi. Pengaturan traksi dan kecepatan motor bisa dilakukan dengan

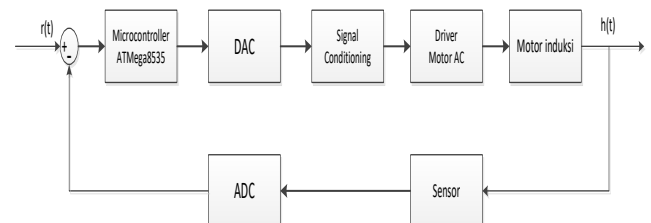
berbagai teknik, diantaranya yaitu dengan pengaturan frekuensi dan mengubah jumlah pasangan kutub. Kontrol kecepatan motor berdasarkan prinsip penyesuaian frekuensi dapat dilakukan dengan menggunakan inverter yang diatur secara otomatis.

Pada kebanyakan industri, kendali Proporsional Integral (PI) masih banyak digunakan hingga saat ini. kendali ini memiliki beberapa parameter pengontrol, yaitu konstanta proporsional (K_p) dan konstanta waktu integral (T_i). Kontroler PI konvensional, kedua parameter tersebut diturunkan dari perhitungan matematis. Kontroler PI memiliki kemampuan untuk menghilangkan error steady state (E_{ss}) [2]. Jika peralatan yang akan dikontrol adalah sistem orde tinggi, maka penyesuaian parameter akan rumit. Jika digunakan dalam sistem yang kompleks, masalah akan menjadi lebih rumit [1].

II. METODOLOGI

A. Perancangan Sistem

Untuk mengatur kecepatan motor induksi digunakan input berupa kecepatan motor yang datanya diolah kedalam kontroler sebagai mikrokontroler kemudian mengirimkan perintah ke dalam aktuator yang berupa motor induksi dan inverter (*driver motor*) yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor induksi. Sistem kontroler ini menggunakan sensor ping yang berfungsi mengetahui berapa Kecepatan dalam tangki pada proses ini dapat dilihat blok diagram perancangan sistem Gambar 1



Gambar 1 Diagram blok desain sistem secara keseluruhan

Tabel 1. Hasil pengidentifikasi parameter BLDC

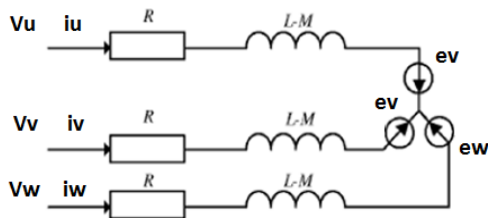
No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Jumlah kutub	4	

2	Tegangan kerja	48	Volt
3	Resistansi stator	0,8	Ohm
4	Induktansi stator	0,0144	H
5	Mutual induktansi	0,0138	H
6	Konstanta torsi motor	0,366	Nm / A
7	Konstanta back emf	0,09	V / rad ps

Model matematis beban :

$$G_L(s) = \frac{1}{0,445 \cdot 10^{-4}s + 152 \cdot 10^{-4}}$$

Gambar 2 merupakan model matematis plant BLDCM dari rangkaian ekivalen stator.



Gambar 2. Rangkaian stator

Persamaan turunan tegangan stator [4] :

$$L \frac{di_U}{dt} + Ri_U + M \frac{di_V}{dt} + M \frac{di_W}{dt} + e_U = V_U$$

$$L \frac{di_V}{dt} + Ri_V + M \frac{di_W}{dt} + M \frac{di_U}{dt} + e_V = V_V$$

$$L \frac{di_W}{dt} + Ri_W + M \frac{di_U}{dt} + M \frac{di_V}{dt} + e_W = V_W$$

Persamaan state space tegangan stator[5]:

$$\begin{bmatrix} L & M & M \\ M & L & M \\ M & M & L \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_U \\ i_V \\ i_W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R & 0 & 0 \\ 0 & -R & 0 \\ 0 & 0 & -R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_U \\ i_V \\ i_W \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_U \\ V_V \\ V_W \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_U \\ e_V \\ e_W \end{bmatrix}$$

Persamaan arus stator [6]:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_U \\ i_V \\ i_W \end{bmatrix} = D^{-1} \left\{ RI \begin{bmatrix} i_U \\ i_V \\ i_W \end{bmatrix} + I \begin{bmatrix} V_U \\ V_V \\ V_W \end{bmatrix} - I \begin{bmatrix} e_U \\ e_V \\ e_W \end{bmatrix} \right\}$$

Persamaan back emf :

$$e_U = K_e \omega_m$$

$$e_V = K_e \omega_m$$

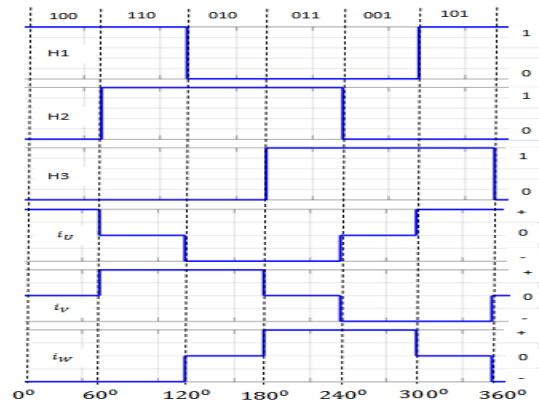
$$e_W = K_e \omega_m$$

Persamaan torsi motor [5]:

$$T_M = \frac{K_{TM}}{3} \left[F(\theta_s) i_U + F\left(\theta_s - \frac{2\pi}{3}\right) i_V + F\left(\theta_s - \frac{4\pi}{3}\right) i_W \right]$$

Sensor posisi (Hall sensor) digunakan untuk mendeteksi posisi rotor. Ketika medan listrik konduktif tiga fasa, BLDCM bekerja. Sinyal keluaran sensor Hall memiliki keluaran kombinasi biner 3 bit yang berubah setiap waktu, sehingga terdapat 6 langkah untuk mengubah data posisi rotor dalam satu siklus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. [3]

Berdasarkan keluaran sensor Hall, perhitungan dapat digunakan untuk mengatur polaritas arus yang dihasilkan oleh proses pensaklaran keenam transistor (Tabel 2).



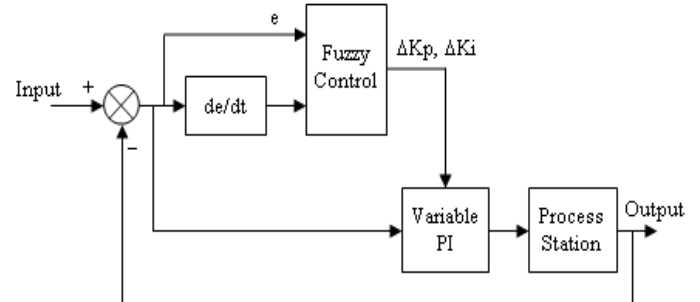
Gambar 3. Hasil dari hall sensor dan polaritas arus

Tabel 2. Sekuensial switching six step commutation [3]

Switching interval	Sequential Number	Sensor output			Phase current			Switch On
		H1	H2	H3	U	V	W	
0° – 60°	0	1	0	0	+	0	-	Q1 Q6
60° – 120°	1	1	1	0	0	+	-	Q3 Q6
120° – 180°	2	0	1	0	-	+	0	Q2 Q3
180° – 240°	3	0	1	1	-	0	+	Q2 Q5
240° – 300°	4	0	0	1	0	-	+	Q4 Q5
300° – 360°	5	1	0	1	+	-	0	Q1 Q4

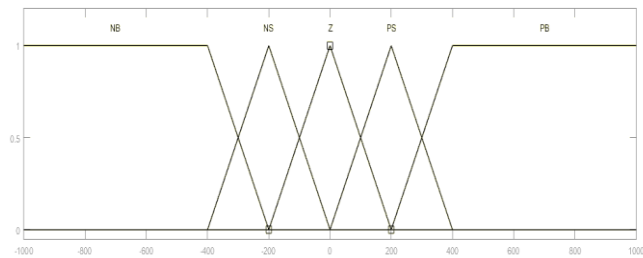
B. Fuzzy PI Autotuning

Variabel input yang digunakan dalam metode ini adalah error dan incremental error, sedangkan variabel output berupa nilai pengontrol proporsional dan integral. Kemudian, pengontrol PI menyesuaikan siklus kerja PWM. Berikut ini adalah diagram blok PWM frekuensi tetap.



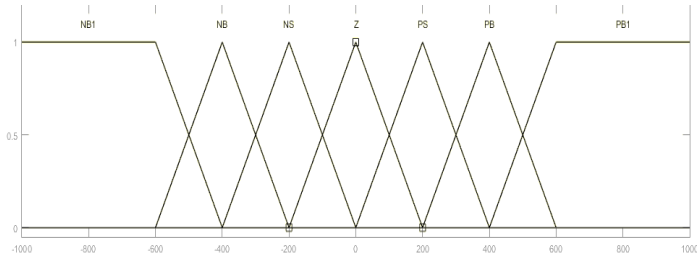
Gambar 4 Diagram blok pengaturan tertutup dengan kontroler fuzzy-PI

Anda dapat melihat nilai anggota yang salah pada Gambar 5. Masing-masing nilainya 5, terbagi menjadi 5 yaitu angka negatif besar (NB), angka negatif kecil (NS), nol (Z), angka positif kecil (PS) dan angka positif besar (PB).



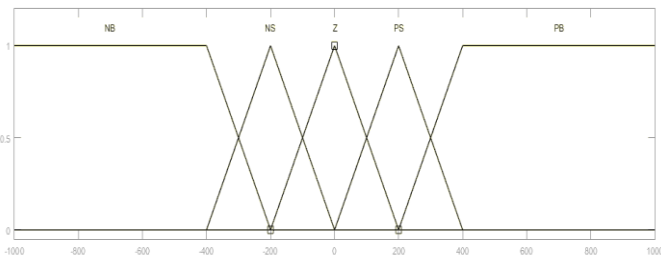
Gambar 5. Nilai Keanggotaan input error

Ada 7 masukan untuk delta error yaitu besar negatif 1 (NB1), negatif besar (NB), negatif kecil (NS), nol (Z), positif kecil (PS), besar positif (PB), dan besar positif 1 (PB1) Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



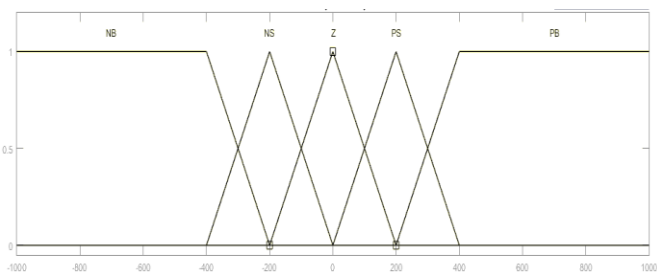
Gambar 6. Nilai Keanggotaan input deltaerror

Nilai keanggotaan output control proporsional terbagi menjadi 5 yaitu negatif besar (NB), negatif kecil (NS), nol (Z), positif kecil (PS), dan positif besar (PB), seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Nilai Keanggotaan output control Proportional

Nilai keanggotaan output control integral dibagi menjadi 5 yaitu negatif besar (NB), negatif kecil (NS), nol (Z), positif kecil (PS), positif besar (PB), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Membership function output control Integral

Rule base fuzzy yang digunakan memperhatikan nilai kesalahan input dan kesalahan delta hingga diperoleh nilai

output terbaik. Tabel 3 menunjukkan 35 aturan output control proportional.

Tabel 3. Rule base Fuzzy output control proportional

d_ERROR \ ERROR	NB	NS	Z	PS	PB
NB1	NB	NB	NS	Z	Z
NB	NB	NB	NS	Z	Z
NS	NB	NS	Z	Z	PS
Z	NB	NS	Z	PS	PB
PS	Z	Z	PS	PS	PB
PB	NS	NS	Z	PS	PB
PB1	NS	NS	Z	PS	PB

Pada tabel 4 Terdapat 35 aturan output control integral.

Tabel 4. Rule base Fuzzy output control integral

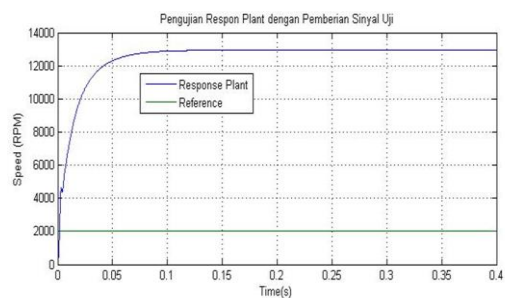
d_ERROR \ ERROR	NB	NS	Z	PS	PB
NB1	NB	NB	NS	NS	Z
NB	NB	NB	NS	Z	Z
NS	NB	NS	Z	Z	PS
Z	NS	NS	Z	PS	PS
PS	Z	Z	PS	PS	PB
PB	NS	NS	Z	PS	PB
PB1	NS	NS	Z	PS	PB

III. HASIL DAN ANALISA

Pembahasan pada bagian ini mengenai pengujian respon model matematik plant dengan pemberian sinyal uji dan pengujian kontroller dengan pemberian referensi berupa trayektori landing pesawat. Hal ini dilakukan agar mengetahui kinerja sistem telah sesuai. Pengujian perangkat lunak dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kehandalan, ketepatan dan kelemahan eksekusi program. Sehingga nantinya perangkat lunak yang dibuat dapat berjalan dengan benar dan sesuai kriteria yang diharapkan.

A. Pemberian Sinyal Uji Model Plant

Model state space yang telah dikerjakan pada bab 3 akan diberikan sinyal uji berupa sinyal Step, tujuan dari pemberian sinyal uji pada model matematik plant adalah pemilihan controller yang tepat untuk plant tersebut.



Gambar 9. Respon Plant dengan pemberian sinyal uji

Dengan melihat respon dari sistem tersebut maka dikatakan sistem atau plant dalam kondisi stabil.

B. Pengujian kontroler yang diterapkan pada plant

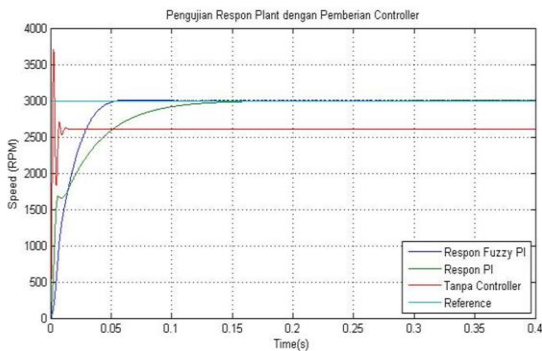
Setelah tahap rancangan struktur kontroler terselesaikan, maka aturan selanjutnya adalah pengimplementasian rancangan kontroler, yang disimulasikan dengan program Matlab.

Cara pengujian kontroler ialah:

1. Tanpa penambahan gangguan.
2. Dengan penambahan gangguan.

C. Pengujian Kontroler tanpa penambahan gangguan

Tahap uji ini dilakukan menggunakan pembandingan antara kontroler Fuzzy PI, PI dan tanpa kontroler dengan referensi kecepatan motor induksi adalah 3000 RPM.

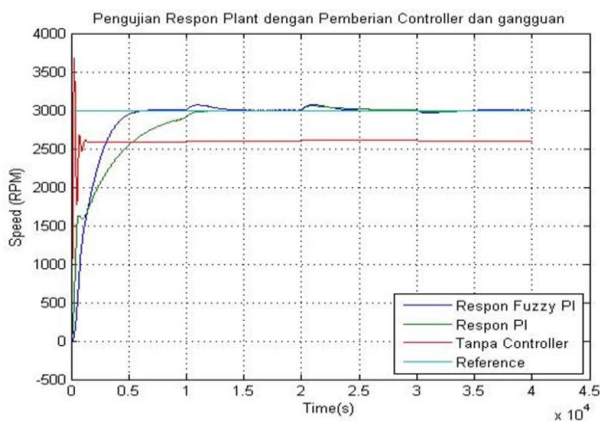


Gambar 10. Respon kecepatan motor induksi tanpa penambahan gangguan

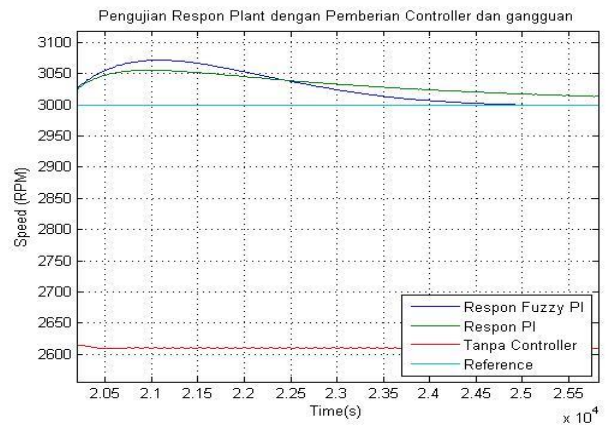
Dari hasil pengujian diatas diketahui bahwa kontroler fuzzy PI lebih cepat menuju referensi kecepatan yang telah di berikan dalam waktu 0.05 detik, kontroler PI menuju referensi kecepatan 0.13 detik dan respon sistem tanpa menggunakan kontroler terjadi kesalahan keadaan tunak 400 RPM.

D. Pengujian Kontroler dengan penambahan gangguan

Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan antara kontroler Fuzzy PI, PI dan tanpa kontroler dengan penambahan gangguan setiap 0,1 detik dengan model gangguan adalah sinyal gauss dan referensi kecepatan motor induksi adalah 3000 RPM.

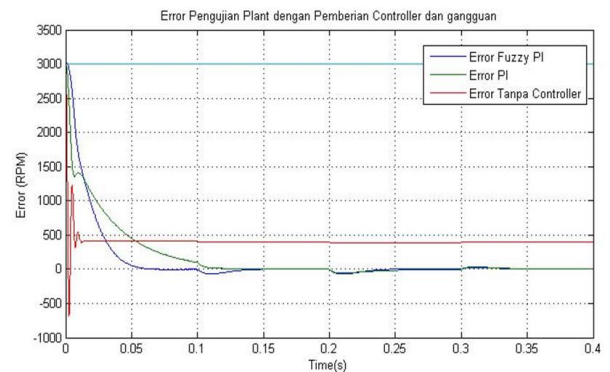


Gambar 11. Respon kecepatan motor induksi dengan penambahan gangguan



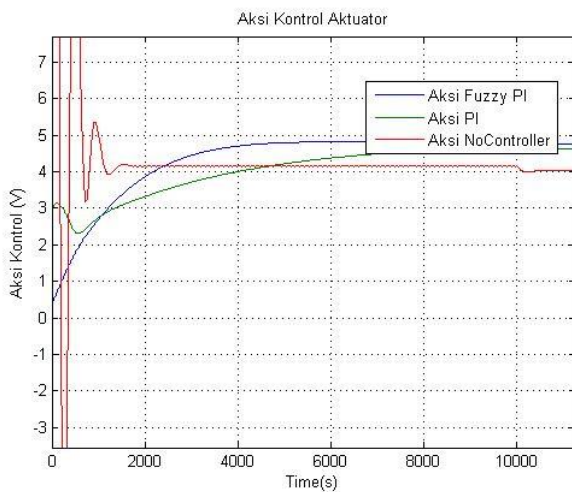
Gambar 12. Perbesaran Respon kecepatan motor induksi dengan penambahan gangguan

Dari 2 gambar diatas dapat diketahui bahwa kontroler Fuzzy PI lebih cepat dalam respon menuju referensi yang telah ditentukan dengan membutuhkan waktu 0.05 detik, walaupun dalam penambahan gangguan error steady state lebih besar dari kontroler PI bisa dilihat pada waktu 0.21 detik error steady state Fuzzy PI sebesar 75 RPM dan PI 50 RPM akan tetapi dalam menuju kestabilan Fuzzi PI membutuhkan waktu 0.04 detik dan PI membutuhkan waktu 0.05 detik.



Gambar 13. Error pengujian kontroler

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa kontroler Fuzzy PI lebih cepat dalam respon menuju kestabilan yang telah ditentukan dengan membutuhkan waktu 0.05 detik,



Gambar 14. Aksi kontrol

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa perancangan kontroler dapat menghasilkan aksi control yang sesuai dengan spesifikasi persyaratan performance (tegangan masukan sebagai input dari inverter), dari data tersebut kontroler Fuzzy PI menghasilkan aksi kontrol yang lebih halus dari pada kontroler PI maupun tanpa kontroler bisa dilihat bahwa nilai tegangan yang di masukkan sebagai input inverter kontroler Fuzzy PI lebih terstruktur.

IV. KESIMPULAN

Umumnya Kontroler Fuzzy PI dapat bekerja dengan baik terhadap variabel kecepatan yang diberikan dibandingkan dengan kontroler PI. Selain itu berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa,

1. Penggunaan controller Fuzzy PI sangatlah tepat karena mampu menuju keadaan steady state dalam waktu 0,05 detik dan controller PI membutuhkan waktu 0,13 detik.
2. Kontroler Fuzzy PI lebih cepat dalam meredam gangguan yakni membutuhkan waktu 0,04 detik menuju kestabilan dan controller PI membutuhkan waktu 0,05 detik dalam meredam gangguan.

Kontroler Fuzzy PI menghasilkan aksi kontrol yang lebih halus dari pada kontroler PI maupun tanpa kontroler bisa dilihat bahwa nilai tegangan yang di masukkan sebagai input inverter kontroler Fuzzy PI lebih terstruktur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agus, N. (2009), *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan Matlab*, Penerbit : Andi, Yogyakarta.
- [2] Chatchaval, P. Tianchai, S. (2009), "Decentralized Fuzzy Logic Controller for TITO Coupled Tanks Process", *CROS-SICE International Joint Conference*, 2862-2866.
- [3] Dumont, G.A. (2011), *Decoupling Control of MIMO System*, Department of Electrical and Computer Engineering, University of British Columbia.
- [4] Maruthai, S. Gunna, J.S. Ranganayhan, R.H. (2009), "Integrated Fuzzy Logic Based Intelligent Control of Three Tank System", *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol.6, No. 1, 1-14.
- [5] Muhammad, U.K. Muhammad, B.K. (2009), "Liquid level Control of Nonlinear Coupled Tanks system using Linear Model Predictive Control", *Proceeding of IEEE, International Conference on Control Applications*, 1-5.
- [6] Suparok, K. Vittaya, T. (2010), "Design of PI Controller Using MRAC Techniques for Coupled-Tanks Process", *International Conference on Controls, Automation and System*, 485-490
- [7] Syahrul. (2012), *Mikrokontroler AVR Seri ATmega 8535*, Penerbit : Informatika, Bandung.
- [8] Wahyudi, Iwan, S. Eduward, T. (2008), "Tuning Parameter Kontrol Proporsional - Integral Menggunakan Sugeno Fuzzy Inference System," *Transmisi, Jurnal Teknik Elektro*, Jilid 10, Nomor 2, hal. 97-102.