

DESAIN KONTROLER PRIMEMOVER GENERATOR DENGAN FUZZY ADAPTIF

Nursalim¹, Adi Soeprijanto², Mauridhi Hery P³

¹Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya 60111, Jurusan Teknik Elektro UNDANA Kupang.

²Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya 60111

³Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya 60111

email: nursalim@elect-eng.its.ac.id ; allink76@gmail.co.id, adisup@ee.its.ac.id, hery@ee.its.ac.id

Abstrak

Salah satu permasalahan yang sering timbul dalam pendistribusian tenaga listrik adalah adanya perubahan frekuensi dan daya listrik yang tidak stabil akibat adanya perubahan putaran primemover di pusat pembangkit. Perubahan putaran primemover ini biasanya diakibatkan oleh adanya perubahan beban yang tidak teratur baik berupa gangguan dinamis, maupun gangguan transien. Apabila hal tersebut dibiarkan maka selain dapat merusak peralatan yang dicatunya juga akan merusak primemover itu sendiri. Untuk mengatasi adanya perubahan frekuensi dan daya listrik ini dilakukan pemulihan frekuensi sistem dengan cara menjaga agar putaran primemover tetap konstan. Tujuan penelitian ini yaitu mendesain sebuah kontroler yang berbasis fuzzy adaptif untuk mengatur kecepatan putaran primemover agar putarannya tetap konstan dan cepat stabil walaupun terdapat gangguan atau perubahan beban. Primemover dalam penelitian menggunakan motor DC penguatan terpisah karena tipe motor ini mempunyai keunggulan dalam kehalusan perubahan kecepatan, kemudahan pengendalian, dan tanggapan dinamis yang cepat terhadap perubahan torsi beban. Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan, pengontrol Fuzzy Adaptif menghasilkan nilai parameter yang lebih baik dibanding dengan PI yaitu settling (t_s) = 0.4 detik, rise time (t_r) = 0.1 detik, delay time (t_d) = 0.07 detik, dan memiliki waktu pemulihan 0.35 detik pada kondisi berbeban.

Kata kunci : adaptif fuzzy logic, motor dc.

1. PENDAHULUAN

Pada masyarakat modern, energi listrik sudah menjadi kebutuhan utama. Sehingga permintaan terhadap energi listrik akan terus bertambah. Dengan adanya peningkatan Kebutuhan tenaga listrik akan memaksa produsen listrik untuk bekerja lebih efisien dalam melayani para konsumen. Hal ini disebabkan karena Konsumen tidak sekedar menuntut agar sistem dapat bekerja secara kontinyu, namun juga menuntut peyediaan kualitas listrik yang prima dan lebih stabil. Penyediaan Energi listrik yang tidak stabil akan dapat merusak dan memperpendek umur pemakaian peralatan yang disuplaynya sehingga secara tidak langsung akan merugikan konsumen. Suatu contoh gangguan yang sering terjadi pada sistem yaitu adanya perubahan frekuensi dan daya listrik yang tidak stabil akibat adanya perubahan beban yang tidak teratur, baik berupa gangguan dinamis, maupun gangguan transien. Hal tersebut merupakan salah satu jenis gangguan yang signifikan pada system yang berdampak pada putaran primemover di pusat pembangkit. Didalam makalah ini didesain sebuah kontroler yang berbasis fuzzy adaptif untuk mengatur kecepatan putaran primemover agar putaran primemover tetap konstan dan cepat stabil walaupun terjadi perubahan beban pada system. Alasan Penggunaan fuzzy adaptif sebagai kontroler yaitu karena kontroler ini lebih murah dan mempunyai keandalan respon kontrol yang lebih tinggi dibanding kontroler seperti PI dan kontroler konvensional yang lainnya. [2,3].

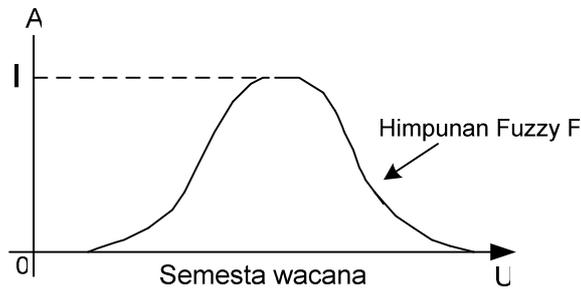
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teori Fuzzy

Perkembangan sistem fuzzy semakin meningkat dengan beragam algoritma fuzzy yang ditawarkan, baik yang masih murni maupun yang telah dikombinasikan dengan algoritma sistem yang lain. Perkembangan ini tidak lepas dari keinginan untuk memperoleh pengendali dengan keandalan yang lebih tinggi dengan peralatan yang lebih minimal dibanding dengan pengendali sebelumnya (mis. PID) [2]. Logika fuzzy juga telah sukses diterapkan pada beberapa aplikasi kontrol. Menurut Mohammed, dan kawan-kawan (2000), berbeda dengan pengontrol konvensional, pengontrol logika fuzzy menggunakan hubungan heuristik *input-output* untuk menangani situasi yang kompleks dan tidak menentu. Pengontrol logika fuzzy dapat bekerja pada situasi dimana variasi parameter dan struktur dari plant memiliki ketidakpastian yang besar. Pengontrol adaptif merupakan suatu pengontrol yang dapat mengubah parameter yang dimiliki dan mempunyai suatu mekanisme untuk penyetelan parameter-parameter tersebut. Sedangkan menurut Wang Xin-Li (1997), pengontrol adaptif fuzzy didefinisikan sebagai sistem logika fuzzy yang dilengkapi dengan algoritma pembelajaran. Pengontrol adaptif fuzzy akan mengubah dan menyesuaikan parameter kendali secara otomatis sesuai dengan kelakuan sistem yang dikehendaki melalui algoritma pembelajaran [3].

2.1.1. Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy adalah generalisasi konsep himpunan biasa (*ordiner*). Untuk semesta wacana (*Universe of discourse*) U, himpunan fuzzy ditentukan oleh fungsi keanggotaan yang memetakan anggota u ke rentang keanggotaan dalam interval [0,1]. Gambar himpunan fuzzy dapat dilihat pada Gambar 1.



$$\mu_F = U \rightarrow [0,1] \dots \dots \dots (1)$$

Gambar 1. Himpunan Fuzzy

2.1.2. Fungsi Keanggotaan

Ada dua cara mendefinisikan keanggotaan himpunan fuzzy, yakni sebagai berikut :

1. **Secara Numeris**
 Menyatakan derajat fungsi keanggotaan suatu himpunan fuzzy sebagai vektor bilangan yang dimensinya tergantung pada level diskretisasi (cacah elemen diskret di dalam semesta).
2. **Secara fungsional**
 Menyatakan suatu fungsi keanggotaan suatu himpunan fuzzy dalam ekspresi analitis yang memungkinkan derajat keanggotaan setiap elemen dapat dihitung di dalam semesta wacana yang didefinisikan.

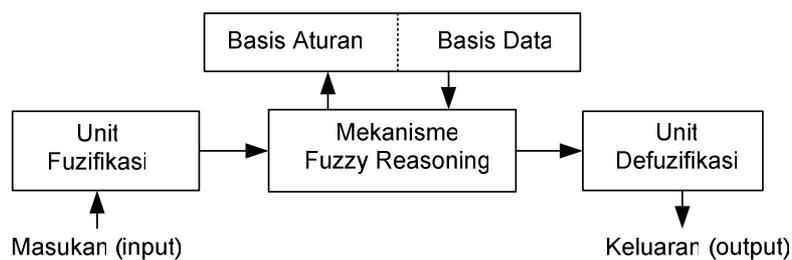
2.2. Sistem Inferensi fuzzy

Inferensi fuzzy digunakan untuk merumuskan pemetaan himpunan input ke himpunan output dengan prinsip logika fuzzy (aturan Jika-Maka). Teknik *reasoning* untuk menentukan nilai yang akan digunakan sebagai masukan aksi kendali yang tepat.

$$MAX - MIN: \mu_B(y) = \max_{i=1}^M \left[\sup_{x \in U} \min (\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n), \mu_B(y)) \right] \dots \dots (2)$$

$$MAX - MIN: \mu_B(y) = \max_{i=1}^M \left[\sup_{x \in U} \min (\mu_{A_1}(x) \prod_{i=1}^N \mu_{A_i}(x_i) \mu_B(y)) \right] \dots \dots \dots (3)$$

Struktur dasar dari sistem inferensi sistem dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2. Struktur Dasar Pengendali Fuzzy

Fuzzyfikasi adalah proses pemetaan dari variabel masukan ke dalam himpunan fuzzy dalam suatu semesta wacana.

$$X = fuzzyfier (X_0) \dots \dots \dots (4)$$

X₀ merupakan vektor masukan himpunan tegas, x adalah vektor himpunan fuzzy hasil proses fuzzyfikasi, dan *fuzzyfier* adalah operator fuzzyfikasi. Sedangkan Defuzzyfikasi merupakan proses pemetaan dari himpunan fuzzy hasil inferensi ke dalam aksi kendali non fuzzy. Metode yang sering digunakan dalam defuzzyfikasi adalah metode rerata maksimum (*mean of maximum/MOM*), metode rerata pusat (*center of average/COA*), metode rerata gravitasi (*center of gravity/COG*).

2.3. Motor DC

Motor arus searah (DC) berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, dalam hal ini energi listrik yang diubah adalah listrik arus searah atau (*Direct Current*). Prinsip kerja motor searah berdasarkan pada penghantar yang membawa arus dan ditempatkan pada suatu medan magnet maka penghantar tersebut akan mengalami gaya. Gaya tersebut menimbulkan torsi yang akan menghasilkan rotasi mekanik, sehingga motor akan berputar

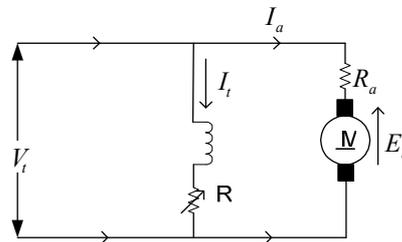
2.3.1. Pengaturan Kecepatan

Kecepatan motor DC dapat dilakukan dengan beberapa cara Pengaturan yaitu :

- a. Pengaturan fluksi medan Φ
- b. Pengaturan tahanan jangkar R_a
- c. Pengaturan tegangan jepitan V_t

a. Pengaturan fluksi medan Φ

Pengaturan ini dapat dilakukan dengan cara menempatkan dan mengatur tahanan geser medan yang dihubungkan secara seri dengan jangkar, seperti pada gambar 1.

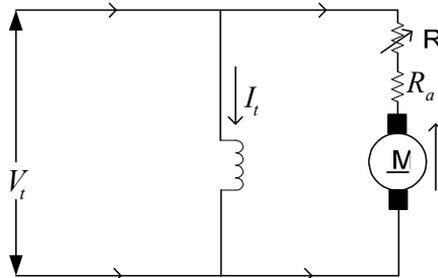


Gambar 3. Pengaturan kecepatan dengan mengatur medan shunt

Dengan menaikkan tahanan dalam rangkaian medan akan menyebabkan penurunan dalam fluksi medan akan mengakibatkan kecepatan motor turun, begitupula sebaliknya dengan menurunkan tahanan rangkaian medan akan menyebabkan putaran motor berkurang.

b. Pengaturan tahanan jangkar R_a

Tahanan jangkar motor dapat diatur dengan menambahkan tahanan variabel yang dihubungkan seri dengan jangkar seperti pada gambar 2.



Gambar 4. Pengaturan kecepatan dengan mengatur tahanan jangkar

Apabila tahanan seri dinaikkan, tegangan pada jangkar akan berkurang dan kecepatan motor berkurang. begitupula sebaliknya dengan menurunkan tahanan seri, akan menyebabkan putaran motor berkurang. Metode ini biasanya digunakan pada pengaturan kecepatan motor-motor seri.

c. Pengaturan tegangan jepitan V_t

Bila tegangan jepitan dari motor dc yang berputar dengan kecepatan steady state diturunkan, akan mengakibatkan arus jangkar turun, sehingga akan mengakibatkan putaran turun sesuai dengan persamaan 1

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_a \Phi_f} - \frac{I_a R_a}{K_a \Phi_f} \dots\dots\dots(5)$$

Dengan menggabungkan persamaan (2.11) dan (2.4) diperoleh

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_a \Phi_d} - \left(\frac{R_a}{K_a \Phi_d^2} \right) K_a \Phi_d I_a \dots \dots \dots (6)$$

Persamaan (2.21) dapat ditulis sebagai

$$\omega_m = c_1 - c_2 I$$

Dimana

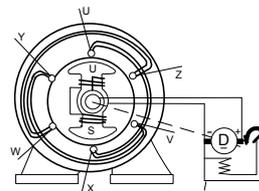
$$c_1 = \frac{V_t}{K_a \Phi_d} \dots \dots \dots (7)$$

$$c_2 = \frac{R_a}{K_a^2 \Phi_d^2} \dots \dots \dots (8)$$

2.4. Generator Sinkron

Generator sinkron disebut juga generator AC. Perbedaan prinsip antara generator DC dengan generator AC adalah untuk generator DC, kumparan jangkar ada pada bagian rotor dan terletak di antara kutub-kutub magnet yang tetap di tempat, diputar oleh tenaga mekanik. Pada generator sinkron, konstruksinya sebaliknya, yaitu kumparan jangkar juga disebut kumparan stator karena berada pada tempat yang tetap, sedangkan kumparan rotor bersama-sama dengan magnet diputar oleh tenaga mekanik.

Generator yang banyak dijumpai di masyarakat adalah generator tiga phase, dalam hal ini jumlah kumparan stator ada tiga kelompok atau tiga phase. Konstruksi generator sinkron tiga phase dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Konstruksi Generator Sinkron

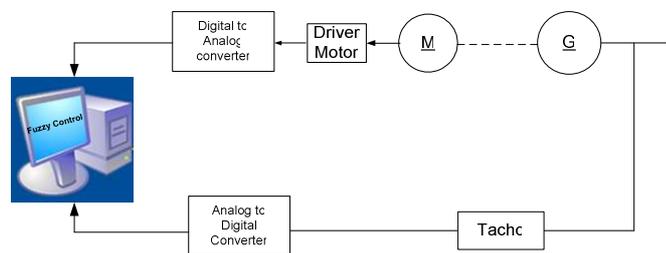
Jika kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan magnet yang terletak di antara kutub magnet utara dan selatan diputar, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet atau flux yang bersifat bolak-balik atau putar. Flux putar ini akan memotong kumparan stator, sehingga pada ujung kumparan stator timbul gaya gerak listrik karena pengaruh induksi dari flux putar tersebut.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Perancangan Sistem

3.1.1. Implementasi sistem

Model sistem yang dikembangkan dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Implementasi sistem

Nilai kecepatan motor DC yang akan diatur dimasukkan ke komputer sebagai setpoint. Pengontrol akan mengatur kecepatan dari motor DC sesuai dengan nilai setpoint yang diinginkan dengan mengirimkan sinyal kontrol yang sesuai. Sinyal kontrol dikirimkan ke driver motor melalui rangkaian *Digital to Analog Converter* (DAC). Kecepatan motor DC diukur dengan menggunakan tachogenerator yang digunakan sebagai sinyal umpan balik ke pengontrol. Keluaran tachogenerator di kirim ke komputer melalui rangkaian *Analog to Digital Converter* (ADC) untuk diolah oleh algoritma pengontrol yang ada di komputer.

3.2. Perangkat lunak

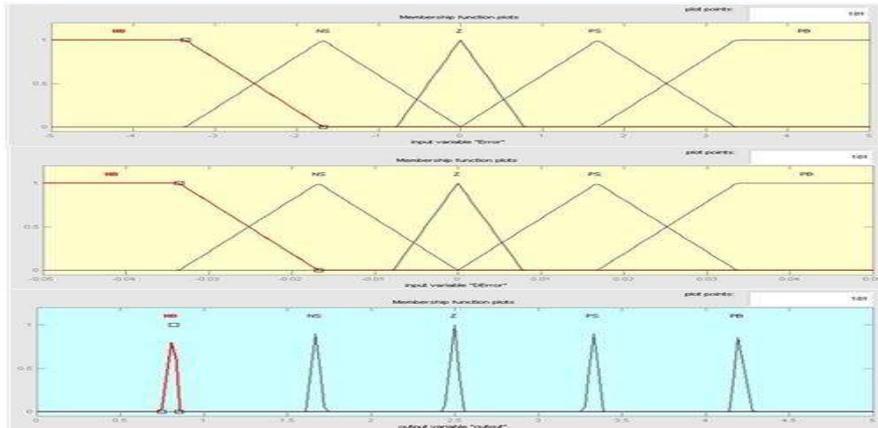
3.2.1. Perancangan Algoritma Fuzi

a. . Perancangan Pengendali Logika Fuzi Fuzi

Fungsi keanggotaan yang direncanakan untuk input e(kesalahan) terdiri dari tiga label yaitu high, okay dan low. Δe (perubahan kesalahan) terdiri dari 5 label yaitu Negative Big (NB), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS), Positive Big (PB) dengan,

$$Err(n) = SP(n) - PV(n).....(9)$$

$$\Delta Err(n) = Err(n) - Err(n-1)..... (10)$$



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan

dan fungsi keanggotaan output berbentuk segitiga dengan 5 label yaitu Negative Big (NB), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS), Positive Big (PB) dengan,

$$Output(n) = Output(n-1) + Doutput.....(11)$$

Fungsi keanggotaan tersebut ditunjukkan pada Gambar.7. Basis Aturan fuzzy (fuzzy rule base) yang direncanakan terdiri dari 25 aturan seperti pada tabel 1:

		DELTA ERROR (Δe)				
		NB	NS	Z	PS	PB
ERROR (e)	NB	NB	NB	NB	NS	Z
	NS	NB	NS	NS	Z	PS
	Z	NB	NS	Z	PS	PB
	PS	NS	Z	PS	PS	PB
	PB	Z	PS	PB	PB	PB

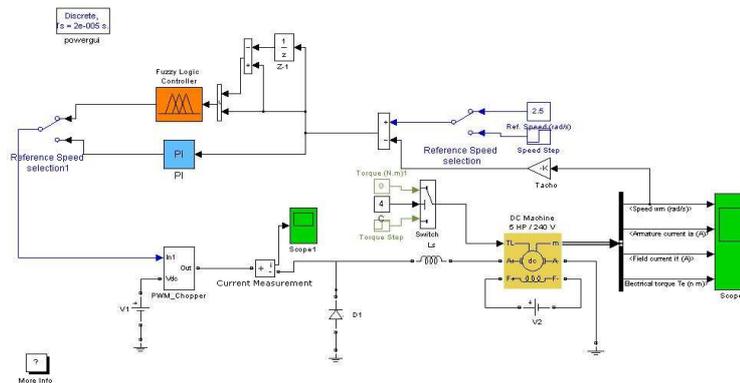
Tabel 1. Basis aturan fuzzy

Derajat dari masing-masing aturan diperoleh dari nilai minimum antara label e atau label Δe . Nilai minimum diambil karena bagian kondisi dihubungkan dengan logika 'AND' sehingga semua bagian harus terpenuhi secara serentak. Untuk proses *rule evaluation* digunakan metode maksimum *inference*, artinya diambil nilai terbesar diantara aturan dengan label yang sama.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

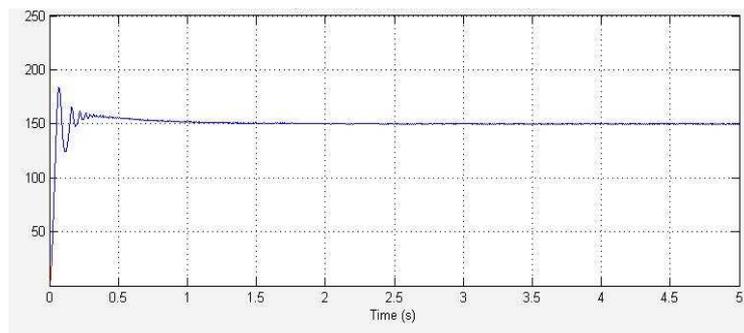
4.1. Simulasi

Blok simulasi dengan kontrol kecepatan primemover dapat dilihat pada gambar 9.

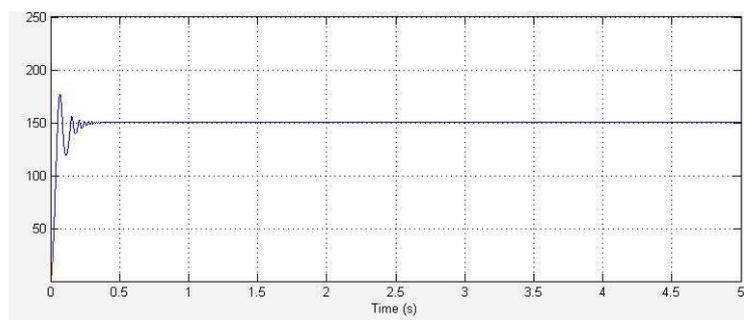


Gambar 9. Simulasi control kecepatan primemover dengan menggunakan MATLAB

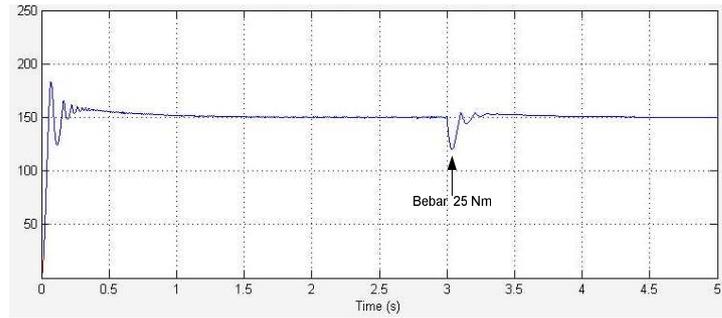
Setelah diperoleh model simulink dari sistem ini maka dilakukan penentuan parameter dari tiap bagian. Simulasi dilakukan dengan range waktu 0 – 5 detik. Gambar 10-11 memperlihatkan hasil respon simulasi dari pengontrolan kecepatan primemover yang menggunakan PI dan fuzzy logic controller tanpa beban, dan gambar 12-13 menunjukkan hasil pengujian respon PI dan respon fuzzy dengan pembebanan sebesar 25 Nm.



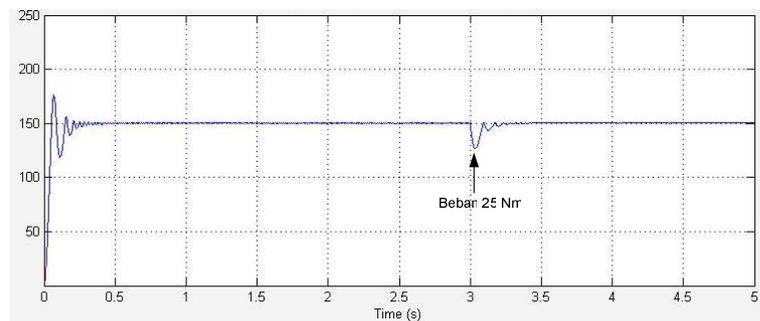
Gambar 10. Respon sistem yang menggunakan PI tanpa beban



Gambar 11. Respon sistem yang menggunakan Fuzzy adaptif tanpa beban



Gambar 12. Respon sistem yang menggunakan PI dengan pembebanan 25 Nm



Gambar 13. Respon sistem yang menggunakan fuzzy adaptif dengan pembebanan 25 Nm

4.2. Analisa

Pada kondisi tanpa beban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11, dengan menggunakan pengontrol PI motor berputar dari 0 rpm hingga mencapai nilai setpoint membutuhkan waktu tempuh (*settling time*) dan *rise time* selama 1.2 detik dan 0.25 detik, dan pada Pengontrol Fuzzy Adaptif membutuhkan waktu tempuh (*settling Time*) dan *rise Time* selama 0.4 dan 0.1 detik. Pada pengontrol Fuzzy Adaptif masih terjadi overshoot sebesar 5 % pada respon sistem, sedangkan *error steady state* yang terjadi pada sistem dengan Fuzzy Adaptif sebesar 0.5 %.

Respon sistem pada kondisi pemberian beban ditunjukkan pada Gambar 12 dan 13, dengan memberikan *setpoint* 1500 rpm. Setelah respon berada pada daerah *steady state* diberi beban sebesar 25 N.m sehingga respon akan turun di bawah setpoint. Waktu yang dibutuhkan respon dari kondisi mulai terbebani hingga mencapai *steady state* kembali (waktu pemulihan) untuk pengontrol PI selama 0.8 detik. Sedangkan pada pegontrol Fuzzy Adaptif selama 0.35 detik

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang dilakukan terhadap penggunaan Kontrol fuzzy dan kelebihan dibanding dengan kontroler PI sebagai pengatur primemover maka dapat dibuat suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi *steady state* dan *rise time* untuk sistem yang menggunakan Fuzzy Adaptif memiliki nilai yang lebih baik dibanding dengan yang menggunakan kontroler PI. Untuk rangkaian yang menggunakan kontroler PI, *steady state* dicapai pada 1.2 detik dan *rise time* 0.25 detik setelah kenaikan beban. Sedangkan pada kontroler Fuzzy Adaptif, motor mencapai *steady state* pada 0.4 dengan *rise time* sebesar 0.1 detik setelah kenaikan beban.
2. Pada saat terjadi perubahan beban, sistem dengan Fuzzy Adaptif akan lebih stabil dengan respon waktu pemulihan sebesar 0.35 detik pada saat diberi beban 25 Nm, sedangkan kontrol PI membutuhkan waktu pemulihan sebesar 0.8 detik pada pembebanan 25 Nm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Josaphat Pramudijanto, Nurul Imam Effendi, dan Mauridhi Hery Purnomo, Implementasi *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Pada Pengaturan Kecepatan Servomotor MS150DC*, Paper IES, 2001.
- [2] Dwi Asta, *Fuzzy Adaptif dengan Penalaan Fungsi KEanggotaan (Adaptive Fuzzy With Member Function Tuning) Pada Pengendali Kecepatan Motor DC Berbasis Mikrokontroler 89C52*, Makalah Tugas Akhir, Universitas Gadjah Mada, 2002
- [3] Resmana, Hany Ferdinando, Thiang, dan Agus Suryo Widodo, *Implementasi Fuzzy Logic Pada Microcontroller Untuk Pengendali Putaran Motor DC*, Proceeding, Industri Electronic Seminar 1999 (IES '99)
- [4] Ratna Ika Putri, *Penerapan Adaptif Fuzzy Pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa*, Jurnal Teknik Gelagar, Vol 18, N0.01, April 2007 : 57-64
- [5] Mohamed Laid Hadjili and Vincent Wertz, Takagi-Sugeno Fuzzy Modeling Incorporating Input Variables Selection, IEEE Transaction Fuzzy Systems, Vol 10.No. 6, December 2002
- [6] Anderson. P.M And Fouad A.A, *Power System Control And Stability. The Iowa State University, Press.1982*
- [7] Chin-Tzong Pang and Yung-Yih Lur, On the Stability of Takagi-Sugeno Fuzzy Systems With Time-Varying Uncertainties, IEEE Transactions on fuzzy systems, vol.16.101, February 2008
- [8] Eugene C. Lister., *Electric Circuits And Machines.*, McGraw-Hill.Inc, 1984
- [9] Boldea, Ion. dan Nasar, S.A., (2002), *The Induction Machine Handbook*, CRC Press, Florida.
- [10] Bose, K.B, (2001), *Modern Power Electronic and AC Drives*, Prentice Hall, Upper Saddle River.
- [11] Cirstea, M.N., Dinu, A., Khor, J.G. dan McCormick, M., (2002), *Neural and Fuzzy Logic Control of Drive and Power System*, Newnes, Oxford.
- [12] Jang, J.S.R., Sun, C.T. dan Mizutani, Eiji, (1997), *Neuro Fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River.