

PERANCANGAN KONTROLER LOGIKA FUZZY MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MATLAB/SIMULINK

I Putu Sutawinaya

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali

Bukit Jimbaran, P.O. Box 1064 Tuban Badung – Bali

Phone : 0361-701981, Fax : 0361 – 701128

e-mail : putusutawinaya@yahoo.co.id

Abstrak : Pada paper ini disajikan penerapan dari sistem kontrol menggunakan teknologi logika fuzzy untuk mengontrol kecepatan motor induksi. Pengemudian motor induksi dengan kontroler logika fuzzy disimulasikan menggunakan perangkat lunak Matlab/Simulink.

Motor induksi banyak digunakan pada industri karena kokoh serta handal jika dibandingkan dengan motor dc. Pada pengoperasian motor induksi, kecepatan motor berubah-ubah (tidak konstan) saat terjadi perubahan parameter dan torsi beban. Secara konvensional, motor induksi dikontrol menggunakan kontroler PID (*proportional integral derivative*). Kontroler PID memiliki kesulitan dalam menghadapi perubahan kecepatan dinamik, parameter dan pembebanan yang berubah-ubah. Pada paper ini, sistem kontrol terhadap kecepatan motor induksi diaplikasikan menggunakan kontroler logika fuzzy.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan menggunakan kontroler logika fuzzy, lonjakan dan waktu pemulihan pencapaian *setpoint* adalah relatif kecil.

Kata kunci : Motor Induksi, Kontroler Logika Fuzzy, Simulink Matlab

Design of Fuzzy Logic Controller Using Software Matlab/Simulink

Abstract : *This paper describes the implementation of control system using fuzzy logic technology for controlled induction motor drives. The performance of an induction motor driven by a fuzzy logic controller using a commercially available software package Simulink from Matlab.*

The induction motors are generally used in the industries, because they are more rugged and reliable than the dc motor. In the operating of motor induction, the speed is varied (not constant) when a change of parameter and load torque happens. In a conventional way, induction motor is controlled using PID (proportional integral derivative) controller. PID controller has difficulty in dealing with dynamic speed tracking, parameter variations, and load disturbances. In this paper, control system of induction motor speed is applied using Fuzzy Logic Control.

The simulation results to shown that the overshoot and settling-time of the set point are relative small with the fuzzy logic controller.

Key words : Induction Motor, Fuzzy Logic Controller, Simulink Matlab

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsep himpunan fuzzy sejak diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh telah banyak menarik minat peneliti untuk diterapkan di berbagai bidang, seperti pengendalian proses, pengenalan pola, manajemen, pembuat keputusan.

Penerapan teori himpunan fuzzy dalam bidang pengendalian (*fuzzy Logic Controller*) telah terbukti banyak menyelesaikan masalah-masalah yang ditemui dalam bidang pengendalian. Penerapan kontroler logika fuzzy pada industri-industri banyak dipelopori oleh para ahli Jepang, misalnya Prof. Sugeno dan kawan-kawan dari Tokyo Institute of Technology. Prof. Yamakawa dari Kyusu Institute of Technology melakukan penelitian dasar dari komputer fuzzy, sedangkan Togai dan Watanabe dari Bell Telephone Labs. berhasil menciptakan untuk pertama kali chip logika fuzzy.

Motor industri merupakan salah satu motor ac yang memiliki kelemahan pada kestabilan putarannya ketika terjadi perubahan dinamika motor. Kelemahan yang lain dari motor industri adalah tidak mampu mempertahankan kecepatannya dengan konstan bila terjadi perubahan kecepatan maupun perubahan torsi beban. Untuk mendapatkan kecepatan konstan serta mampu memperbaiki kinerja motor, maka dibutuhkan suatu rangkaian pengendali.

Beberapa studi tentang pengendalian motor industri telah dikembangkan oleh para peneliti yang menjadi acuan di dalam penelitian ini. Pada penelitian ini dirancang suatu pemodelan pengaturan kecepatan motor industri menggunakan kontroler logika fuzzy. Model diaplikasikan melalui suatu simulasi pemodelan perangkat lunak (*software*) menggunakan fasilitas Simulink dan Power System Blockset dari MATLAB.

1.2 Permasalahan

Pada makalah ini akan dibahas beberapa hal yang dianggap penting bagi perkembangan teknologi khususnya pada bidang sistem kontrol, yaitu mengontrol pengaturan motor induksi menggunakan sistem kontroler logika fuzzy, antara lain :

1. Bagaimana pemodelan secara matematis sistem kontrol yang akan dirancang.
2. Bagaimana simulasi dan konsep dasar sistem kontroler logika fuzzy
3. Bagaimana respon sistem dari simulasi sistem yang dirancang.

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Kontroler Logika Fuzzy

Secara umum kontroler logika fuzzy memiliki kemampuan sebagai berikut:

1. Beroperasi tanpa campur tangan manusia secara langsung, tetapi memiliki efektifitas yang sama dengan kontroler manusia;

2. Mampu menangani sistem-sistem yang kompleks, non-linier dan tidak stationer;
3. Memenuhi spesifikasi operasinal dan kriteria kinerja;
4. Strukturnya sederhana, kuat dan beroperasi *real time*.

Kontroler logika fuzzy dikategorikan dalam kontrol cerdas (*intelligent control*). Unit logika fuzzy memiliki *realibity* yang mampu menyelesaikan masalah perilaku sistem yang kompleks dan memiliki ketidakpastian. Pengendali logika fuzz memiliki unjuk kerja sangat baik dibandingkan dengan sistem kontroler PID. Berbeda dengan sistem kontrol biasa, di mana harga yang dihasilkan diolah dan didefinisikan secara pasti atau dengan istilah lain hanya mengenal logika ‘0’ dan ‘1’ atau bekerja pada daerah ON dan OFF sehingga didapatkan perubahan yang kasar.

Pada sistem logika fuzzy, nilai yang berada antara ‘0’ dan ‘1’ dapat didefinisikan, sehingga kontroler dapat bekerja seperti sistem syaraf manusia yang bisa merasakan lingkungan eksternalnya, yakni “kurang”, “agak”, “biasa”, dan “sangat” atau bahkan pengaburannya bisa lebih dari kategori tersebut dengan menambah faktor linguistik yang terhimpun dalam pengaburan derajat keanggotaan.

Kontroler yang berbasis logika fuzzy harus melalui beberapa tahapan sebelum sampai ke *plant*. Tahapan-tahapan tersebut Kuantisasi, Fuzzifikasi, Penentuan *rule base* dan *Inference* (*reasoning*), kemudian Defuzzifikasi.

a. Kuantisasi

Masukan suatu input numerik dirubah menjadi tingkat kuantisasi. Jumlah tingkat kuatisasi akan menentukan ketelitian dalam pengambil keputusan, sehingga makin banyak tingkat kuantisasi hasil ketelitian akan lebih baik tetapi perhitungan akan semakin rumit. Untuk sistem yang sederhana cukup menggunakan sedikit jumlah tingkat kuantisasi. Klasifikasi ditentukan dalam bentuk Negatif, Nol, dan Positif maka tingkat kuantisasi yaitu (-1,0,1). Hal ini dapat diperluas lagi dengan menambah tingkat kuantisasi (-2,-1,0,1,2) maka klasifikasi terdiri dari Negatif Big (NB), Negatif Small (NS), Nol (Z), Positif Small (PS), Positif Big (PB).

b.Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non fuzzy (variabel numerik) menjadi variabel fuzzy (variabel *linguistic*). Nilai *error* dan *delta error* yang dikuantisasi sebelumnya diolah oleh kontroler logika fuzzy kemudian diubah terlebih dahulu ke dalam variabel fuzzy. Melalui *membership function* (fungsi keanggotaan) yang telah disusun, maka dari nilai *error* dan *delta error* kuantisasi akan didapatkan derajat keanggotaan bagi masing-masing nilai *error* dan *delta error*.

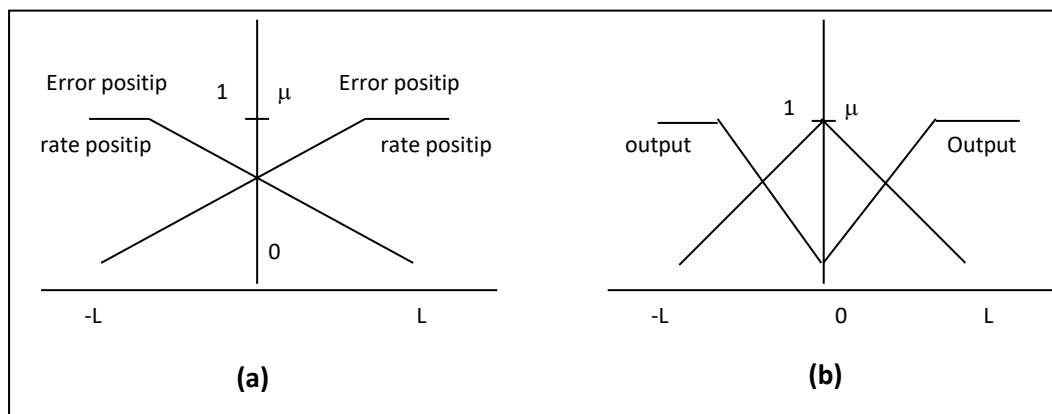
c. Rule Base

Rule base adalah sekelompok aturan fuzzy dalam hubungannya antara keadaan sinyal masukan dan sinyal keluaran. Rule base merupakan dasar dari pengambilan keputusan atau inference (proses untuk mendapatkan aksi keluaran sinyal kontrol dari suatu kondisi masukan yaitu *error* dan *delta error* dengan berdasarkan rule-rule yang telah ditetapkan. Proses inference menghasilkan sinyal keluaran yang masih dalam bentuk bilangan fuzzy,

yaitu derajat keanggotaan dari sinyal kontrol. Pendefinisian rule base tergantung dari data yang telah disesuaikan dan dalam bentuk tabel.

2.2 Algoritma Fuzzifikasi dan Rule Fuzzy

Algoritma fuzzifikasi linier untuk *error* penskalaan dan putaran ditunjukkan pada gambar 2.1. L pada gambar salah satunya menotasikan *error* maksimum ($\Delta\omega$), atau putaran maksimum ($\Delta\omega'$).



Gambar 2.1. Algoritma fuzzifikasi untuk (a) input dan (b) output kontrol

Fuzzy set “error” memiliki dua anggota, antara lain : *error* positif (ep) dan *error* negatif (en), dan *fuzzy set* putaran (CE) memiliki dua anggota, antara lain : putaran positif (rp) dan putaran negatif (rn).

Fuzzy set output kontrol memiliki tiga anggota, antara lain : output positif (op), output negatif (on) dan output nol (oz). Rule kontrol fuzzy yang digunakan pada program ini adalah

Rule 1 : IF (ep AND rn) THEN (oz)

Rule 2 : IF (ep AND rp) THEN (op)

Rule 3 : IF (en AND rn) THEN (on)

Rule 4 : IF (en AND rp) THEN (oz)

Kontroler fuzzy memungkinkan dioperasikan untuk memberikan beberapa input, kegunaannya adalah membuat *rule* komposional dengan kesimpulan :

$$dU = (E \times CE) \circ R$$

Secara normal “o” menotasikan output max-min, di mana hasil output max-min yang terbaik dapat digunakan. Pada evaluasi digunakan *control rules* : Zadeh AND, and Lukasiewicz OR logic. Zadeh logic diberikan dengan AND rule.

Algoritma Defuzzifikasi

Keluaran defuzzifikasi dari *fuzzy set* didefinisikan sebagai :

$$dU = \sum_{k=1}^k u^*(k) \cdot \mu(k) / \sum_{k=1}^k u \mu(k)$$

di mana u^* adalah menotasikan nilai dari kesatuan anggota untuk kelas keanggotaan (*membership*).

Perbandingan dinamik ekivalen dan *gain integral* dari kontroler fuzzy adalah dihasilkan sebagai :

$$K_p = 0.5L g_u g_r / \{2L - g_e |e(nT)|\}$$

$$K_i = 0.5L g_u g_e / \{2L - g_e |e(nT)|\}$$

$$\text{untuk } g_r \cdot ce(nT) \leq g_e |e(nT)| \leq L$$

$$K_p = 0.5L g_u g_r / \{2L - g_r |ce(nT)|\}$$

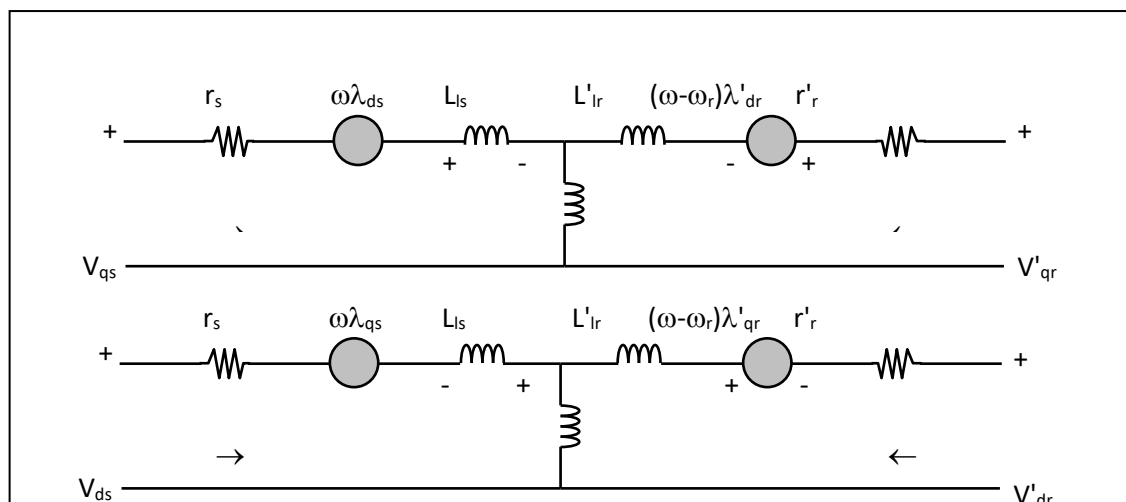
$$K_i = 0.5L g_u g_r / \{2L - g_r |ce(nT)|\}$$

$$\text{untuk } g_e \cdot e(nT) \leq g_r |ce(nT)| \leq L$$

Nilai-nilai *gains* adalah g_e , g_r dan g_u . L dapat disesuaikan dengan performansi transien terbaik.

2.3 Model Matematis Motor Industri

Rangkaian ekivalen motor industri tiga fasa pada koordinat d-q adalah seperti ditunjukkan pada gambar 2.2 di bawah.



Gambar 2.2. Rangkaian ekivalen motor industri tiga fasa

Persamaan motor industri dalam koordinat d-q

Persamaan tegangan

$$V_{qs} = r_s i_{qs} + p \lambda_{qs} + \omega \lambda_{ds} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_{ds} = r_s i_{ds} + p \lambda_{ds} - \omega \lambda_{qs} \dots\dots\dots (2)$$

$$V'_{qr} = r'_r i'_{qr} + p \lambda'_{qr} + (\omega - \omega_r) \lambda'_{dr} \dots\dots\dots (3)$$

$$V'_{dr} = r'_r i'_{dr} + p \lambda'_{dr} + (\omega - \omega_r) \lambda'_{qr} \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan fluksi

$$\lambda_{qs} = L_{ls} i_{qs} + L_m (i_{qs} + i_{qr}) \dots\dots\dots (5)$$

$$\lambda_{ds} = L_{ls} i_{ds} + L_m (i_{ds} + i_{dr}) \dots\dots\dots (6)$$

$$\lambda'_{qr} = L'_{lr} i'_{qr} + L'_m (i'_{qs} + i'_{qr}) \dots\dots\dots (7)$$

$$\lambda'_{dr} = L'_{lr} i'_{dr} + L'_m (i'_{ds} + i'_{dr}) \dots\dots\dots (8)$$

Persamaan torsi elektromagnetik

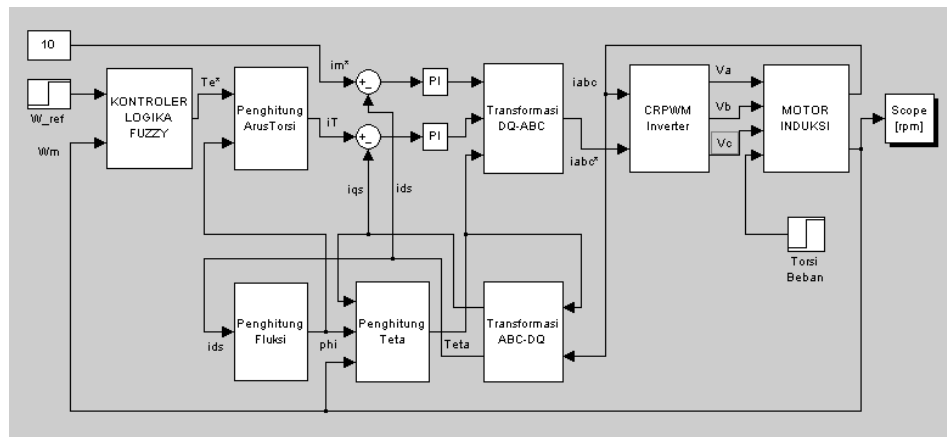
$$T_e = \frac{3}{2} \frac{k}{2} \tilde{\lambda}_m \tilde{i}_{qds} \dots\dots\dots (9)$$

Persamaan dinamika motor asinkron

$$T_e - T_l = \frac{2J}{k} \frac{d\omega_r}{dt} + B_m \frac{2}{k} \omega_r \dots\dots\dots (10)$$

2.4 Simulasi Sistem Kontroler Fuzzy

Mengembangkan dari beberapa penelitian yang telah dikembangkan oleh para peneliti seperti yang digunakan sebagai referensi, maka blok diagram kontroler logika fuzzy yang dikembangkan ke dalam simulasi pemodelan sistem pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan fasilitas Simulink dan Power System Blockset dari MATLAB ditunjukkan pada gambar 3.1.

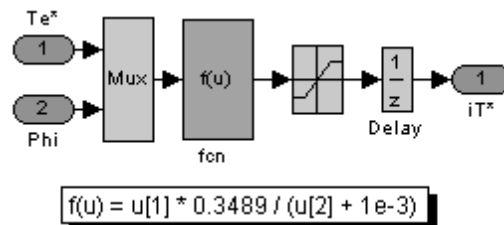


Gambar 3.1. Simulasi Pengaturan Kecepatan Motor Industri Menggunakan Kontroler Logika Fuzzy

2.5 Pemodelan Unit Sistem Kontrol

Pada makalah ini, sinyal kontrol dari model blok rangkaian kontroler logika fuzzy berupa torsi referensi (T_e^*) digunakan untuk mengontrol arus torsi (i_T). Arus torsi ini dihitung dengan menggunakan persamaan (11), dapat dimodelkan seperti terlihat pada gambar 3.2

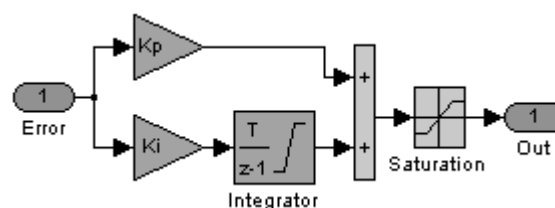
$$\dot{i}_T^* = \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{P} \cdot \frac{L_r}{L_m} \cdot \frac{T_e^*}{|\lambda_r|} \dots \dots \dots (11)$$



$$f(u) = u[1] * 0.3489 / (u[2] + 1e-3)$$

Gambar 3.2. Model Penghitung Arus Torsi Referensi (i_T^*)

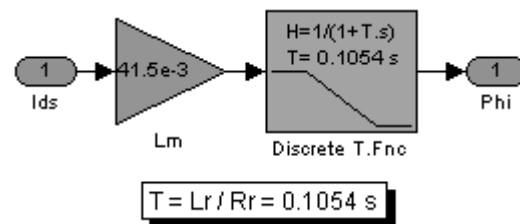
Arus torsi referensi (i_T^*) akan dibandingkan dengan arus i_{qs} (keluaran dari vektor transformasi ABC-DQ), demikian halnya arus medan referensi (i_m^*) akan dibandingkan dengan arus i_{ds} . Masing-masing error tersebut diproses melalui kontroler PI untuk menghasilkan arus stator referensi (i_{qs}^*) dan (i_{ds}^*). Model kontroler PI yang digunakan adalah seperti gambar 3.3 berikut :



Gambar 3.3. Model Kontroler PI

Phi adalah fluksi rotor yang dihasilkan dari perubahan arus stator i_{ds} (keluaran dari vektor transformasi ABC-DQ) dapat dihitung melalui persamaan (12), dan dapat dimodelkan seperti terlihat pada gambar 3.4

$$|\lambda_r| = \frac{L_m i_{ds}}{1 + \tau_r s} \dots\dots\dots(12)$$



Gb.3.4 Model Penghitung fluksi rotor (phi)

Sedangkan arus stator i_{qs} dan fluksi rotor digunakan untuk menghitung besarnya perubahan sudut atau posisi fluksi rotor (Teta ' θ_e '), yang dibutuhkan untuk proses transformasi melalui persamaan (13) dan (14), dapat dimodelkan seperti pada gambar 3.5

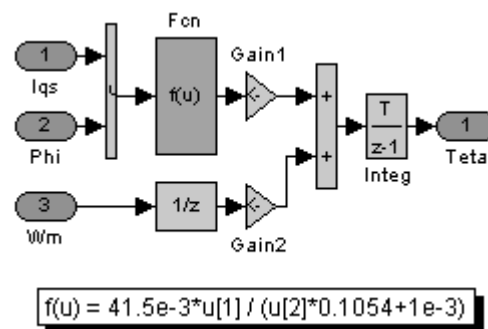
$$\theta_e = \int (\omega_m + \omega_{sl}) dt \dots\dots\dots(13)$$

frekuensi slip dihitung dari persamaan berikut :

$$\omega_{sl} = \frac{L_m}{|\lambda_r|} \cdot \frac{R_r}{L_r} \cdot i_{qs} \dots\dots\dots(14)$$

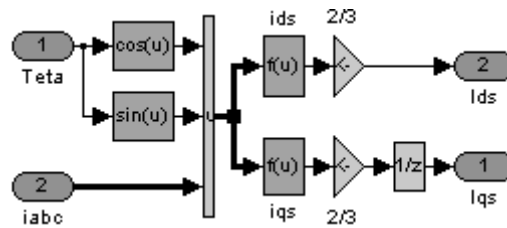
dimana: ω_{sl} = Kecepatan slip (rad/dt).

ω_m = Kecepatan angular medan putar rotor yang bergerak secara sinkron dengan sumbu d-q (rad/dt).

Gambar 3.5 Model Penghitung Teta (θ_e)

Teta yang dihasilkan digunakan di dalam proses transformasi arus stator, dari koordinat a, b, c (i_a , i_b , i_c) ke arus stator koordinat d,q (i_{ds} , i_{qs}) menggunakan persamaan (15), dapat dimodelkan seperti pada gambar 3.6.

$$\begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_e) & \left(-\frac{1}{2} \cos(\theta_e) + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(\theta_e) \right) \\ -\sin(\theta_e) & \left(\frac{1}{2} \sin(\theta_e) + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(\theta_e) \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} \cos(\theta_e) - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(\theta_e) \\ \frac{1}{2} \sin(\theta_e) - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(\theta_e) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots(15)$$



Gambar 3. 6 Model Transformasi abc - dq

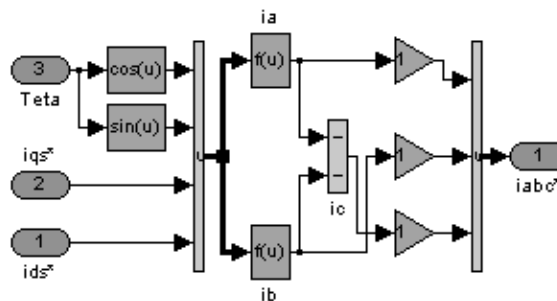
di mana :

$$f(u)_{ids} : u(1)*u(3)+[1,7320508*u(2)u(1)]*u(4)*0,5 + [-u(1) - 1,7320508*u(2)]*u(5)*0,5$$

$$f(u)_{iqs} : -u(2)*u(3)+[u(2)+1,7320508*u(1)] *u(4) *0,5 +[u(2)-1,7320508*u(1)]*u(5)*0,5$$

Teta juga digunakan didalam proses transfor-masi dari arus stator referensi koordinat d,q (i_{ds}^* , i_{qs}^*) ke arus stator referensi koordinat a, b, c (i_a^* , i_b^* , i_c^*) dengan menggunakan persamaan (16), dapat dimodelkan seperti pada gambar 3.7.

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_a^* \\ \dot{i}_b^* \\ \dot{i}_c^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_e) & -\sin(\theta_e) \\ -\frac{1}{2}\cos(\theta_e) + \frac{\sqrt{3}}{2}\sin(\theta_e) & \left(\frac{1}{2}\sin(\theta_e) + \frac{\sqrt{3}}{2}\cos(\theta_e)\right) \\ -\frac{1}{2}\cos(\theta_e) - \frac{\sqrt{3}}{2}\sin(\theta_e) & \left(\frac{1}{2}\sin(\theta_e) - \frac{\sqrt{3}}{2}\cos(\theta_e)\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{i}_{ds}^* \\ \dot{i}_{qs}^* \end{bmatrix} \dots\dots\dots(16)$$



Gambar 3.7 Model Transformasi dq - abc

di mana :

$$f(u)_{ia} : -u(3) * u(2) + u(4) * u(1)$$

$$f(u)_{ib} : [-u(1) + 1,7320508 * u(2)] * u(4) * 0,5 + [u(2) + 1,7320508 * u(1)] * u(3) * 0,5$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penalaan Fuzzy Rule Base

Proses simulasi rangkaian kontroler logika fuzzy yang telah dirancang, digunakan untuk pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa. Prosedur pengujian simulasi dilakukan untuk menguji validitas dan keterandalan model melalui simulasi komputer. Simulasi dilakukan dengan cara memberi torsi beban maksimal. Sebelum proses simulasi dimulai, parameter-parameter sistem kontrol pada motor induksi dan kontroler logika fuzzy harus ditala (*tuning*) terlebih dahulu agar diperoleh respon kinerja motor yang baik.

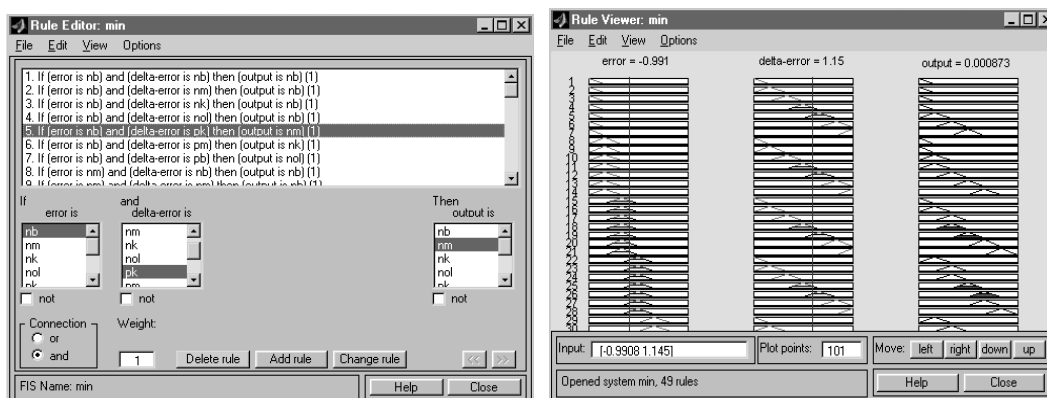
Penalaan parameter sistem dilakukan secara coba-coba, perkiraan-perkiraan maupun secara heuristik hingga diperoleh hasil sesuai dengan yang diinginkan. Adapun hasil penalaan (*tuning*) adalah :

Time sampling sistem kontrol (T_s) = 0,00005 detik

Gain error (G_1) dan gain delta error (G_2) = 0,01

Sinyal kontrol (T_e^*) dibatasi maksimum 19, 8 N.m

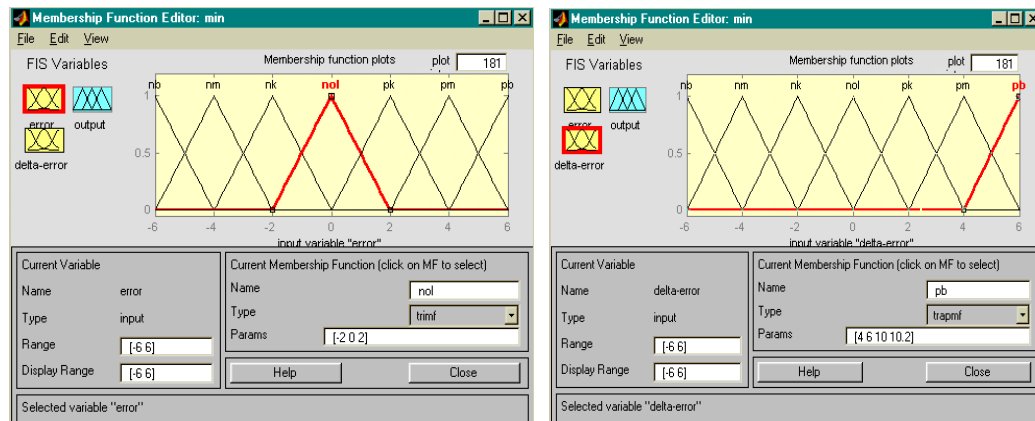
Untuk menentukan rule base digunakan metode pendekatan secara heuristik, dengan melakukan pengamatan respon terhadap masukan, kemudian dengan naluri keteknikan (engineering science) ditentukan rule base kontroler logika fuzzy yang sesuai. Rule base kontroler logika fuzzy yang digunakan ditunjukkan pada gambar 4.1.



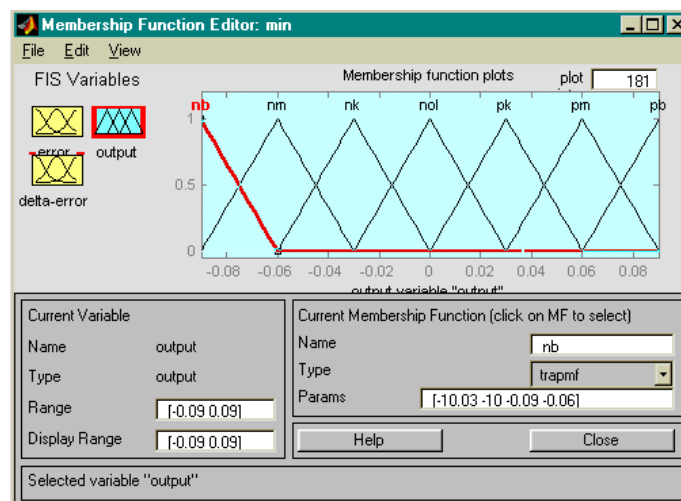
Gambar 4.1. Tampilan *Rule Base* kontroler logika fuzzy

3.2 Pengaturan Membership Function

Metode yang digunakan pada kontroler logika fuzzy ini adalah metode statik, artinya sifat fungsi keanggotaan (*membership function*) bekerja dengan rentang kerja (*range*) tetap, yaitu antara -6 sampai dengan 6 untuk variabel input, dan antara -0,09 sampai dengan 0,09 untuk variabel output.

Gambar 4.2. Tampilan *Membership Function* variabel input “Error & Delta Error”

Error dan *delta error* yang terjadi selama sistem dioperasikan, terlebih dahulu dikuantisasi atau dipetakan melalui interpolasi biasa menjadi *error* terkuantisasi (Q_e) dan *delta error* terkuantisasi (dQ_e). Pengkuantisasian melalui interpolasi bertujuan untuk memetakan *error* dan *delta error* ke dalam semesta pembicaraan dengan rentang kerja yang telah ditetapkan tersebut. Pengkuantisasian dibagi menjadi tujuh tingkat kuantisasi dengan variabel linguistik, yaitu negatif besar (nb), negatif menengah (nm), negatif kecil (nk), nol (nol), positif kecil (pk), positif menengah (pm), positif besar (pb). Penentuan rentang kerja tersebut harus sefleksibel mungkin agar sistem mampu melakukan *tracking setpoint* dengan baik.

Gambar 4.3. Tampilan *Membership Function* variabel output

3.3 Respon Sistem dan Analisis

Model yang dibuat diuji melalui dua tahap perubahan kecepatan atau perubahan kedudukan setpoint (kecepatan referensi “ ω_{ref} ”). Tahap pertama : setpoint awal ditetapkan 1000 rpm, dan setelah simulasi berjalan 0,7 detik (dalam kondisi *steady state*) setpoint dinaikkan menjadi 1200 rpm.

Hasil unjuk kerja dari pengaturan kecepatan motor induksi untuk tahap pertama (perubahan kecepatan dari 1000 rpm menjadi 1200 rpm) adalah seperti ditunjukkan pada gambar 4.4. Respon sistem yang diamati dan dianalisis hanya saat setpoint 1000 rpm dari kedudukan awal 0 rpm adalah sebagai berikut :

- a. *Overshoot* (1002,1 rpm) : 0,21 %
- b. *Rise time* : 0,33 detik
- c. *Settling time* : 0,35 detik
- d. *Error* kecepatan : 0,8 rpm

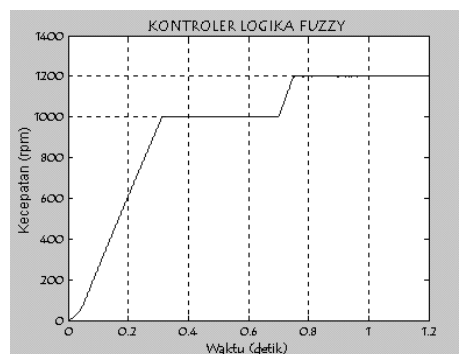
Berdasarkan hasil pengujian dapat dianalisa bahwa model yang dikembangkan ini memiliki kemampuan mengontrol kecepatan terhadap perubahan kecepatan atau perubahan *setpoint* dengan baik, dengan waktu pencapaian *setpoint* dan *settling time* relatif cepat, *overshoot* kurang dari 1 %, serta *steady state error* mendekati nol.

Pada kondisi berbeban, model yang dibuat diuji dengan memasukkan torsi beban sesaat selama 0,07 detik dan dengan torsi beban permanen (tetap) setelah sistem dalam keadaan mantap (*steady state*) pada kedudukan *setpoint* 1000 rpm. Simulasi dimulai dari kecepatan awal motor 0 rpm hingga mencapai kedudukan *setpoint*, dengan waktu sampling mulai dari 0 sampai 1,2 detik.

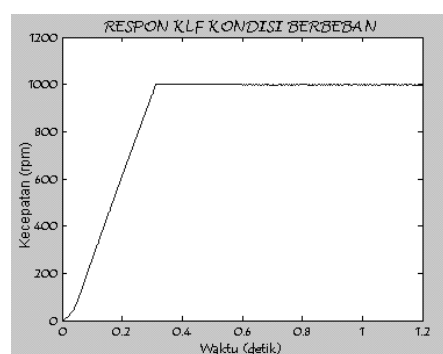
Hasil unjuk kerja untuk kondisi berbeban sesaat adalah seperti ditunjukkan pada gambar 4.5. Dalam hal ini, kondisi yang diamati dan dianalisis adalah respon sistem pada saat torsi beban maksimum (TL = 19,8 N.m) mulai dimasukkan, yaitu pada $t = 0,7$ detik hingga sistem kembali ke kedudukan *setpoint*. Hasil simulasi sebagai berikut :

- e. *Undershoot* (995,3 rpm) : 0,47 %
- f. *Rise time* : 0,01 detik
- g. *Settling time* : 0,08 detik
- h. *Steady state error* : 0,8 rpm

Berdasarkan hasil pengujian bahwa setelah torsi beban dimasukkan respon sistem mengalami gangguan, terjadi penurunan kecepatan rata-rata sekitar 1,5 rpm atau 0,15 % di bawah kedudukan *setpoint* 1000 rpm



Gambar 4.4. Respon perubahan kecepatan



Gambar 4.5. Respon kondisi berbeban

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan terhadap penggunaan kontroler logika fuzzy di dalam pengaturan kecepatan motor induksi, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Untuk simulasi kondisi setpoint tetap, terlihat bahwa model kontroler yang dirancang mampu memberikan kriteria performansi sistem kontrol yang tinggi. Rise time dan settling time relatif cepat, overshoot relatif kecil dan steady state error mendekati nol, yakni :

1. *Overshoot* (1002,1 rpm) : 0,21 %
2. *Rise time* : 0,33 detik
3. *Settling time* : 0,35 detik
4. *Error* kecepatan : 0,8 rpm

Untuk kondisi berbeban, kontroler ini mampu mengatasi perubahan *plant* dengan kembali ke posisi *setpoint* dengan cepat, yakni :

- a. *Undershoot* (995,3 rpm) : 0,47 %
- b. *Rise time* : 0,01 detik
- c. *Settling time* : 0,08 detik
- d. *Steady state error* : 0,8 rpm

4.2 Saran

Melihat respon yang ditampilkan model yang dirancang ini kurang *smooth*, maka disarankan agar model yang dikembangkan ini perlu disempurnakan kembali dengan menggunakan metode kontrol lain yang lebih adaptif.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fuzzy Logic Toolbox User's Guide, For Use With BATLAB, in Mathworks Hand Book, Math Works, January 1998.
- [2] Heber Brian, Xu Longya, Tang Yifan," Fuzzy Logic Enhanced Speed Control of an Indirect Field Oriented Induction Machine Drive", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 12, No. 5, pp. 772-773, sept. 1997.
- [3] Kuswadi Son, Kendali Cerdas (Intelligent Control), EEPIS Press, Surabaya, Septem-ber 2000.
- [4] Novotny D.W., and Lorenz R.D., Introduction to Field Orientation and High Performance AC Drives, IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Canada, 1985.
- [5] Power System Blockset User's Guide, For Use With Simulink, in Mathworks Hand Book, Math Works, January 1998.

- [6] Rozzouk A.B., Cheriti A., Olivier Guy, and Sicard Piere,” Field Oriented Control of Induction Motor Using Neural Network Decouplers”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 12, No. 4, pp. 752-763, July 1997.
- [7] Simulink User’s Guide, in Mathworks Hand Book, Math Works, 1998.
- [8] Sutawinaya I Putu dan Narottama, 2010, ” Simulasi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Kontroler PI dengan Observer ANFIS”, *LOGIC*, volume 10 no. 1. PNB, Denpasar.
- [9] Zhen Li, and Xu Longya,” On-Line Fuzzy Tuning of Indirect Field-Oriented Induction Machine Drives”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 13, No. 1, January 1998.
- [10] Zhen Li, and Xu Longya,” Fuzzy Learning Enhanced Speed Control of an Indirect Field-Oriented Induction Machine Drives”, *IEEE Transactions Control Systems Technology*, Vol. 8, No. 2, March 2000.