

## PENGEMBANGAN PENGGUNAAN METODA PENELUSURAN TABU UNTUK PEMILIHAN MEMBERSHIP FUNCTION FUZZY LOGIC CONTROL PADA PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI

<sup>1</sup>Era Purwanto, <sup>2</sup>SATO Yukihiko, <sup>3</sup>Mauridhi Hery Purnomo, <sup>3</sup>Subagio,

<sup>2</sup>Makoto Chiba, <sup>1</sup>Gigih Prabowo

<sup>1</sup>Research Group On Electric Drive

Electronic Engineering Polytechnic Institute of Surabaya (EEPIS)

Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111

<sup>2</sup>Electronic and Mechanical Department Chiba University, Chiba-Shi, Japan

<sup>3</sup>Research Group on Intelligent Technology for Nonlinear Systems

Electrical Engineering Department of Institute Technology Sepuluh Nopember Surabaya, Indonesia

E-mail: era@eepis-its.edu

### Abstrak

Kontroler logika fuzzy telah banyak dikembangkan untuk mengatasi masalah pengaturan kecepatan pada motor induksi. Ada beberapa kendala yang dihadapi kalau menggunakan kontroler logika fuzzy standar/konvensional dalam menentukan fungsi keanggotaannya dan rule base yang sesuai dengan sistem kontrol yang diinginkan.

Teknik optimasi penelusuran "tabu" (tabu search) dapat digunakan untuk mengatasi kendala pada kontroler logika fuzzy tersebut supaya rule base kontroler logika fuzzy dapat mengatur dirinya sendiri secara otomatis ketika terjadi perubahan beban pada motor induksi

Metode penelusuran tabu bisa membuat rule base kontroler logika fuzzy mengatur dirinya sendiri yang digunakan pada pengaturan kecepatan motor induksi dan hasil performansi sistem ini menunjukkan maximum overshoot kurang dari 2%, settling time kurang dari 2 detik, rise time kurang dari 2 detik dan error steady state kurang dari 2%.

**Kata kunci:** kontroler logika fuzzy, rule base, penelusuran tabu

### 1. Pendahuluan

Motor induksi banyak digunakan dalam industri, karena konstruksinya sederhana, murah, perawatan mudah, dan kokoh. Untuk beban tertentu motor induksi dioperasikan dengan kecepatan konstan. Namun jika beban berubah maka kecepatan juga akan berubah. Hal tersebut dapat diatasi dengan mengatur tegangan dan frekwensi menggunakan inverter. Untuk mendapatkan performansi sistem yang baik diperlukan suatu kontroler. Kontroler yang banyak dikembangkan saat ini untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada motor induksi tersebut adalah kontroler logika fuzzy.

Sistem kontroler logika fuzzy sering digunakan dalam pengaturan kecepatan motor induksi pada industri untuk mengurangi terjadinya overshoot yang berlebihan, dead time dan rise time yang terlalu lama. Tetapi kendala yang dihadapi kalau menggunakan sistem logika fuzzy yang standar/konvensional adalah sulit menentukan fungsi keanggotaan serta menentukan aturan (rule) yang sesuai untuk suatu sistem kontrol yang diinginkan.

Menghadapi kendala-kendala tersebut para peneliti mengembangkan teknik-teknik optimasi supaya sistem logika fuzzy mampu menentukan sendiri fungsi keanggotaannya maupun aturan-aturannya. Teknik optimasi yang sudah kita kenal

dengan baik antara lain algoritma genetik dan simulated annealing.

Berdasarkan pertimbangan di atas, dalam penelitian ini dikembangkan suatu model pembelajaran aturan fuzzy dengan penelusuran "tabu" (tabu search) untuk mengontrol kecepatan motor induksi pada beban dinamis (berubah-ubah) yang dituangkan dalam bentuk perangkat lunak (software), fungsi keanggotaan (FAM) yang digunakan adalah fungsi keanggotaan gaussian, product inference rule dan center average defuzzyfication dengan strategi pembelajaran untuk memilih nilai keadaan awal menggunakan strategi pembelajaran dalam step, yang diterapkan pada motor induksi tiga fasa untuk mengatur kecepatan motor pada beban dinamis (berubah-ubah).

Sasaran dari penelitian adalah memperbaiki kekurangan dari kontroler logika fuzzy dengan teknik optimasi penelusuran tabu agar aturan dasar (rule base) kontroler logika fuzzy dapat mengatur dirinya sendiri secara otomatis ketika terjadi perubahan parameter beban pada motor induksi tiga fasa sehingga kecepatan motor induksi tetap konstan dengan performansi sistem (performance indicator) kurang dari 5%.

### 2. Pemodelan Motor Induksi

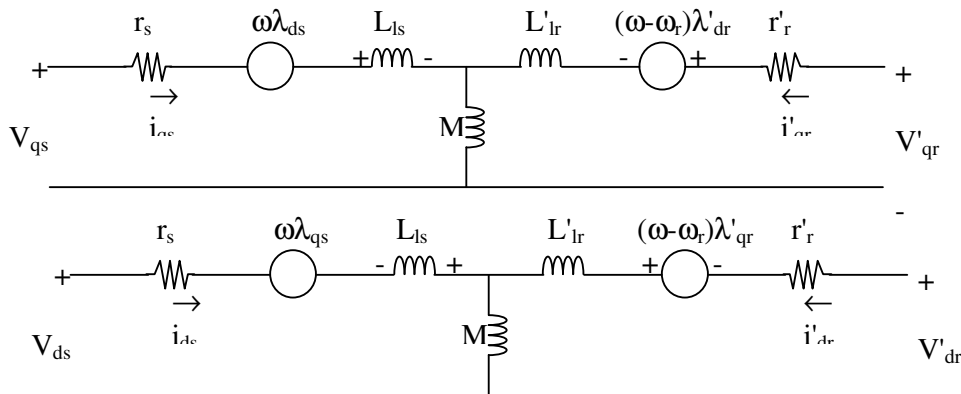
Persamaan tegangan motor induksi dalam koordinat d-q adalah:

$$\begin{aligned} V_{qs} &= r_s i_{qs} + p \lambda_{qs} + \omega \lambda_{ds} & (1) \\ V_{ds} &= r_s i_{ds} + p \lambda_{ds} - \omega \lambda_{qs} \\ V'_{qr} &= r'_r i'_{qr} + p \lambda'_{qr} + (\omega - \omega_r) \lambda'_{dr} \\ V'_{dr} &= r'_r i'_{dr} + p \lambda'_{dr} + (\omega - \omega_r) \lambda'_{qr} \end{aligned}$$

Dari persamaan tegangan dalam koordinat d-q di atas, rangkaian ekuivalen motor induksi seperti terlihat pada gambar 1.

Persamaan untuk fluksi adalah

$$\begin{aligned} \lambda_{qs} &= L_{ls} i_{qs} + L_m (i_{qs} + i'_{qr}) & (2) \\ \lambda_{ds} &= L_{ls} i_{ds} + L_m (i_{ds} + i'_{dr}) \\ \lambda'_{qr} &= L'_{lr} i'_{qr} + L'_m (i'_{qs} + i'_{qr}) \\ \lambda'_{dr} &= L'_{lr} i'_{dr} + L'_m (i'_{ds} + i'_{dr}) \end{aligned}$$



Gambar 1. Rangkaian ekuivalen motor induksi tiga fasa dalam koordinat d-q

### 3. Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Dengan Logika Fuzzy

Untuk pengaturan kecepatan motor induksi dengan kontroler logika fuzzy, dalam penelitian ini digunakan blok diagram dari beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh Brian H. dan kawan-kawan seperti pada gambar 2.

Dalam penelitian ini sinyal keluaran kontrol dari kontroler logika fuzzy berupa torsi referensi ( $T_s^*$ ) yang dipakai untuk mengatur arus torsi. Persamaan arus torsi yang akan digunakan adalah

$$i_T = \frac{L_r}{p M^2 i_M} T_s^* \quad (5)$$

Persamaan torsi elektromagnetik

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{k}{2} \bar{\lambda}_m \bar{i}_{qds} \quad (3)$$

Persamaan gerakan elektromekanis dari motor induksi adalah

$$T_e - T_l = \frac{2J}{k} \frac{d\omega_r}{dt} + B_m \frac{2}{k} \omega_r \quad (4)$$

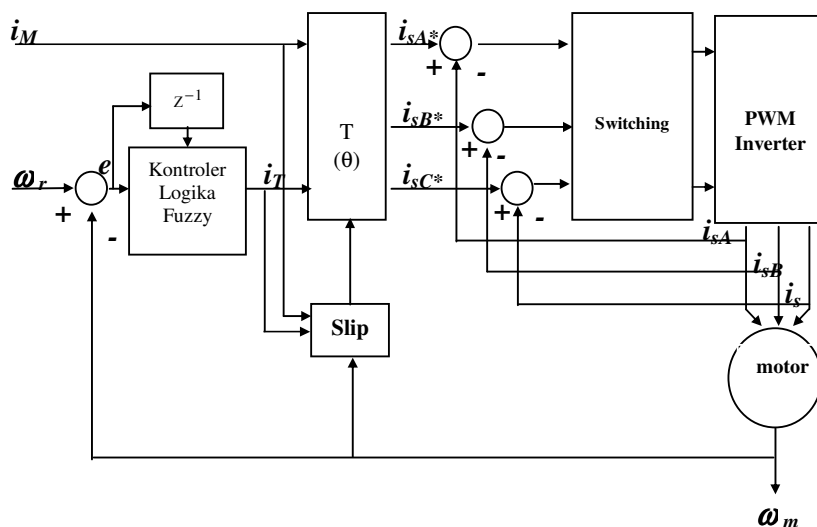
dimana  $T_l$  adalah torsi beban,  $k$  adalah jumlah kutub,  $J$  adalah momen inersia dan  $B_m$  adalah koefisien peredam.

Untuk mendapatkan respon kecepatan yang cepat, maka arus medan ( $i_M$ ) dipertahankan pada harga konstan. Kecepatan slip yang ditimbulkan dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\omega_{sl} = \frac{R_r}{L_r i_M} i_T \quad (6)$$

dimana :  $\omega_{sl} = \omega_s - \omega_r$

$$\theta_s = \int_0^t \omega_s dt$$



**Gambar 2.** Blok diagram pengaturan kecepatan motor induksi dengan kontroler logika fuzzy

Transformasi arus medan dan arus torsi dinyatakan dengan,

$$\begin{bmatrix} i_{SA}^* \\ i_{SB}^* \\ i_{SC}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{3}{2}} \begin{bmatrix} \cos \theta_s & \sin \theta_s \\ \cos \left( \theta_s + \frac{2\pi}{3} \right) & -\sin \left( \theta_s + \frac{2\pi}{3} \right) \\ -\cos \left( \theta_s - \frac{2\pi}{3} \right) & -\sin \left( \theta_s - \frac{2\pi}{3} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_M \\ i_T \end{bmatrix}$$

#### 4. Rancangan Pembelajaran Aturan Fuzzy dengan Penelusuran Tabu

Untuk menetapkan suatu aturan dasar keseluruhan, disarankan menggunakan keadaan awal untuk menghitung fungsi error. Nilai keadaan awal harus dipilih secara kompromi, yang mencakup *state space*, tanpa pengurangan secara berlebihan perhitungan dari fungsi error.

Dalam penelitian ini menggunakan fungsi keanggotaan gaussian, *product inference rule* dan *center average defuzzification* [14], maka persamaan sinyal keluarannya adalah sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M \bar{y}^l \left[ \prod_{i=1}^N a_i^l \exp \left( -\left( \frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l} \right)^2 \right) \right]}{\sum_{l=1}^M \left[ \prod_{i=1}^N a_i^l \exp \left( -\left( \frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l} \right)^2 \right) \right]}$$

dimana,

$M$  : banyaknya aturan fuzzy

$N$  : banyaknya masukan

$\bar{x}_i^l$  : titik tengah fungsi keanggotaan

$\sigma_i^l$  : lebar fungsi keanggotaan

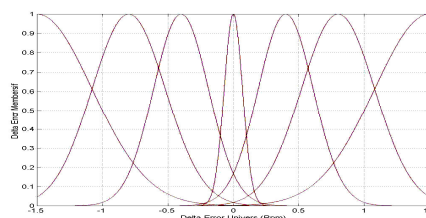
$\bar{y}^l$  : titik tengah fungsi keanggotaan dikeluarkan

$a_i^l$  diasumsikan sama dengan 1

**Tabel 1.** Rule base dengan 7 tingkat kuantisasi [6]

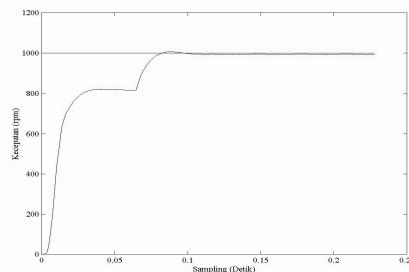
<i>E/dE</i>	<i>PB</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>Z</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>NB</i>
<i>PB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>PS</i>	<i>Z</i>
<i>PM</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>Z</i>	<i>PS</i>
<i>PS</i>	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>Z</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>
<i>Z</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>Z</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>
<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>Z</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>
<i>NM</i>	<i>PS</i>	<i>Z</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>
<i>NB</i>	<i>Z</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>

Dengan harga awal ditentukan :  
 $PB = 1.5$  ;  $PM = 0.8$  ;  $PS = 0.4$  ;  $NS = -0.4$  ;  
 $NM = -0.8$  ;  $NB = -1.5$



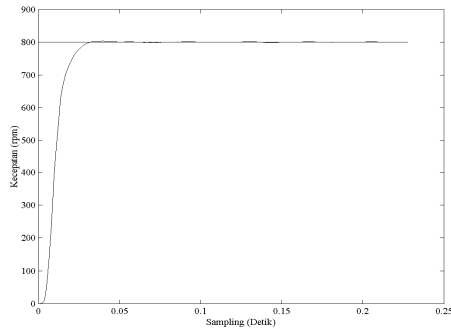
**Gambar 3.** Fungsi keanggotaan gaussian dengan range -1.5 sampai 1.5

#### 5. Hasil Simulasi



**Gambar 4.** Performansi sistem tanpa beban pada setpoint 800 rpm

Dari hasil output program diatas terlihat bahwa performansi sistem untuk menuju kedudukan setpoint yang diberikan membutuhkan waktu yang relatif cepat, presentasi 'maximum overshoot' dibawah 2 % dan 'error steady state' mendekati nol.



**Gambar 5.** Performansi sistem untuk perubahan setpoint dari 800 rpm – 1000 rpm

## 6. Kesimpulan

Dari hasil simulasi yang dilakukan Sistem kontroler logika fuzzy dalam hal ini pada pembelajaran aturan fuzzy dengan penelusuran tabu mampu memberikan kriteria performansi pengendalian yang tinggi terhadap kecepatan motor induksi tiga fasa, hal ini dinyatakan dengan pengujian untuk beberapa kondisi setpoint.

## Daftar Pustaka

- [1] Yann-Chang Huang, Hong-Tzer Yang, and Ching-Lien Huang, "Solving the Capacitor Placement Problem in a Radial Distribution System Using Tabu Search Approach," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 11, No. 4, November 1996, pp. 1868-1873.
- [2] F. Wen and C. S. Chang, "Transmission Network Optimal Planning Using the Tabu Search Method," *Electric Power Systems Research* 42, pp. 153-163, 1997.
- [3] Maurizio Denna, Giancarlo Mauri, and Anna Maria Zanaboni, "Learning Fuzzy Rules with Tabu Search An Application to Control," *IEEE Transactions On Fuzzy Systems*, Vol. 7, No. 2, April 1999, pp. 295-318.
- [4] Ramon A. Gallego, Ruben Romero, and Alcir J. Monticelli, "Tabu Search Algorithm for Network Synthesis," *IEEE Transactions On Power Systems*, Vol. 15, No. 2, May 2000, pp. 490-495.
- [5] Edson Luiz da Silva, Jorge Mauricio Areiza Ortiz, Gerson Couto de Oliveira, dan Silvio Binato, "Transmission Network Expansion Planning Under a Tabu Search Approach," *IEEE Transactions On Power System*, vol. 16, no. 1, pp. 62-68, February 2001.
- [6] Jun Yan, Michael Ryan, James Power, "Using fuzzy logic: Toward intelligent systems", Prentice Hall, New York London Toronto Sydney Tokyo Singapore.
- [7] Ion Boldea and Syed A. Nasar, "Vector Control of AC Driver", CRC Press, Inc., 1992.
- [8] Timothy J. Ross, "Fuzzy Logic Engineering Applications", McGraw Hill, Inc., 1995.
- [9] Chee, Teng Fong and H. R. Sirisena, "Self-Tuning PID Controllers for dead Time Process", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 35, No. 1, Apr., 1988.
- [10] Rajani K. Mudi dan Nikhil R. Pal, "A Robust Self-Tuning Sceme for PI- and PD-Type Fuzzy Controller", *IEE Trans. On Fuzzy System*, vol. 7, No.1, Febr., 1999.