

PERANCANGAN MODIFIED ANFIS OBSERVER UNTUK IDENTIFIKASI KECEPATAN MOTOR INDUKSI

Hasti Afianti², Soebagio¹, Mauridhi Hery Purnomo¹

¹Jurusan Teknik Elektro, FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surya, Surabaya

ABSTRAK

Dalam makalah ini dikembangkan control kecepatan dari motor induksi yang dioperasikan dengan metoda vector control tanpa sensor kecepatan. Kecepatan motor diestimasi oleh suatu observer dengan metoda modified ANFIS, sistem ini penggabungan antara fuzzy dan neural network yang telah dimodifikasi dengan Least Square Estimator pada pembelajaran forward dan pada pembelajaran backward menggunakan metode Steepest Descent. Hasil simulasi dapat mengestimasi fluksi dan kecepatan, hasil estimasi mampu melakukan identifikasi kecepatan rotor motor induksi dengan sangat baik.

Kata kunci: Motor Induksi, Modified Anfis Observer

1. PENDAHULUAN

Motor dc adalah motor yang paling ideal untuk dipakai dalam pengemudian elektrik, karena motor tersebut adalah motor yang linier dan untuk pengaturan kecepatannya mudah serta tidak memerlukan converter. Kejelekan darimotor dc adalah harganya cukup mahal, ukurannya relative besar, dan adanya komutator dan sikat-sikat dalam motor, memerlukan suatu pemeliharaan yang rutin, dan selama pemeliharaan operasi system terhenti. Sedangkan motor induksi harganya murah, kokoh dan bebas dari pemeliharaan. Kelemahan motor induksi adalah bahwa motor induksi adalah motor yang tidak linier, dan metoda untuk mengatur kecepatan adalah rumit, disamping itu diperlukan suatu converter yang menimbulkan harmonic. Namun setelah ditemukan suatu metoda vector control atau *field oriented control*, maka motor induksi dapat dioperasikan menjadi motor yang linier, sehingga motor induksi telah mendesak pemakaiannya motor dc dalam industri.

Bila kecepatan motor induksi yang dioperasikan dengan metoda field orienten control harus diatur, maka diperlukan suatu sensor kecepatan untuk mengamati harga kecepatannya. Kemudian kecepatan dari motor dibandingkan dengan kecepatan referensi, yang kemudian diumpankan ke controller untuk bisa mengendalikan kecepatan sehingga sesuai dengan harga referensi. Namun sensor kecepatan banyak mengandung kelemahan, antara lain hasil pengukuran kecepatan kurang akurat karena sering bahwa letak dari sensor terlalu jauh dari system control. Untuk menanggulangi masalah tersebut diperlukan suatu observer. Observer berfungsi untuk mengamati besar torka dan arus motor. Dan dengan mengetahui harga torka dan arus, maka kecepatan motor dapat diprediksi.

Metode kontrol vektor tanpa sensor kecepatan (speed sensorless vector control methods) untuk motor induksi dikembangkan

begitu pesat dalam aplikasi sistem penggerak [1]-[5]. Metoda estimasi kecepatan menggunakan Neural Network (NN) telah dibahas [1], [5]. Pembelajaran estimator kecepatan dilakukan dengan algoritma beackpropagasi dan pembelajarannya dilakukan secara bersamaan dengan beroperasinya motor induksi. Hasil kecepatan yang diestimasi ini akan menjadi umpan balik pada alur kontrol kecepatan. Estimator kecepatan menggunakan NN mempunyai kinerja yang baik pada saat transient dan steady states begitu pula untuk kecepatan dan beban yang bervariasi.

Penggunaan kombinasi antara Fuzzy dan Neural Network telah banyak dipelajari. Dengan menggabungkan kelebihan Fuzzy dalam menangani informasi yang tidak pasti dan kemampuan belajar dari neural network didapatkan suatu kontrol yang dapat diandalkan.

Metode ANFIS merupakan salah satu metode yang sangat fleksibel dalam menangani permasalahan kontrol, salah satunya pada motor induksi [6], [7], [9]. Dengan menggabungkan antara kontrol PI dan ANFIS yang mentuning parameter dari kontrol PI dihasilkan sebuah kontrol yang dapat mengatur kecepatan pada motor induksi dengan baik [8]. Begitu pula pada ANFIS yang dimodifikasi dengan menggunakan metode Least Square Estimator (LSE) [10], walaupun terdapat jumlah node yang besar sehingga memperlambat proses perhitungan.

Untuk mengatasi hal tersebut maka pada penelitian ini digunakan ANFIS, yang dimodifikasi dengan Lead Square Estimator pada pembelajaran forward dan menggunakan Steepest Descent pada pembelajaran backward.

2. PEMODELAN SYSTEM

Mengembangkan dari beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh Seong-Hwan Kim, dkk. [2], Faa-Jeng Lin, dkk [5] dan Iradiratu DPK. [6],

maka blok diagram system yang dikembangkan pada penelitian ini adalah seperti Gambar 1.

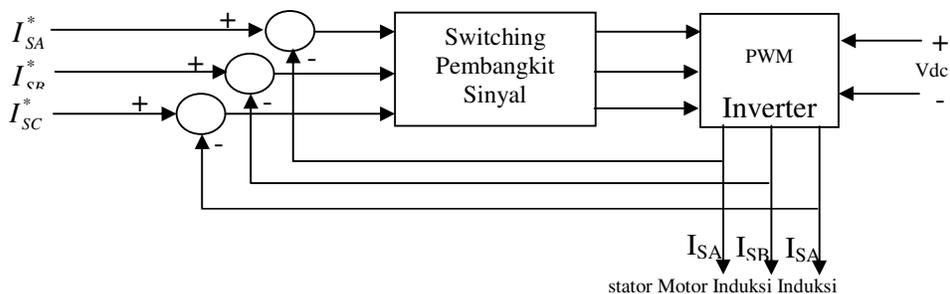
2.1 Model Inverter

Vektor rotasi terhadap arus magnetisasi dan arus torsi menghasilkan arus fase referensi yang digunakan untuk sinyal control PWM inverter. Tegangan yang dihasilkan inverter akan digunakan

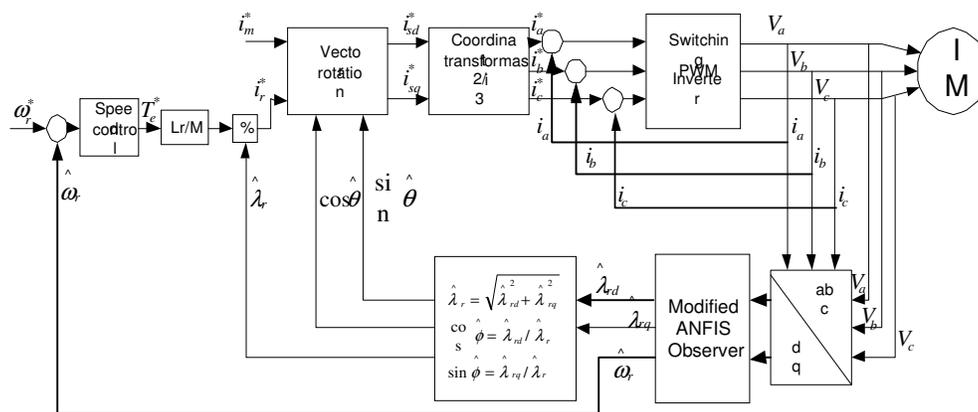
oleh stator motor induksi. Model PWM inverter ditunjukkan pada Gambar 2.

2.2 Model Motor Induksi

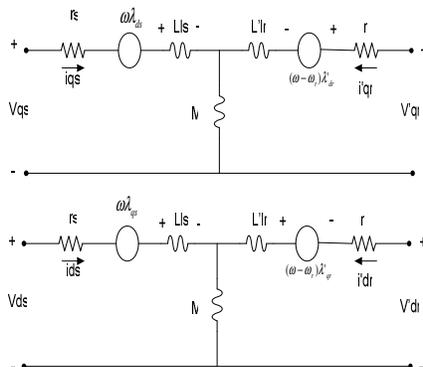
Rangkaian ekivalen motor induksi dalam koordinat d-q dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1. Konfigurasi Sistem Speed Sensorless Vector Control untuk Motor Induksi dengan Modified ANFIS



Gambar 2. PWM Inverter



Gambar 3. Rangkaian Ekivalen Motor Induksi dalam Koordinat d-q

Rangkaian ekuivalen motor induksi dalam koordinat d-q, dengan memasukkan tegangan rotor ($V_r = 0$), maka didapat besaran tegangan stator yang merupakan fungsi dari arus stator dan arus rotor dalam bentuk matrik, sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + pL_s & -\omega_s L_s & pM & -\omega_s M \\ \omega_s L_s & R_s + pL_s & \omega_s M & pM \\ pM & -(\omega_s - \omega_r)M & R_r + pL_r & -(\omega_s - \omega_r)L_r \\ (\omega_s - \omega_r)M & pM & (\omega_s - \omega_r)L_r & R_r + pL_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix} \quad (1)$$

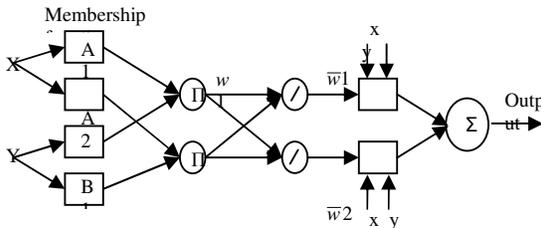
dan $p = \frac{d}{dt}$

jika ditinjau pada koordinat stationer ($\omega_s = 0$), maka persamaan (1) menjadi:

$$\begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + pL_s & 0 & pM & 0 \\ 0 & R_s + pL_s & 0 & pM \\ pM & \omega_r M & R_r + pL_r & \omega_r L_r \\ -\omega_r M & pM & -\omega_r L_r & R_r + pL_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.3 Model Observer

2.3.1 Struktur Modified ANFIS



Gambar 4. Struktur Modified ANFIS

Struktur jaringan ANFIS yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi lima lapis, yaitu:

Lapis pertama berfungsi sebagai fuzzifikasi. Keluaran dari tiap titik pada lapis ini adalah berupa fungsi keanggotaan dari sinyal masukan. Titik pada lapis ini bersifat adaptif dan jika diambil fungsi Gaussian maka persamaan keluarannya adalah:

$$\mu_{A_i}(x) = \exp\left[-\frac{(x-c)^2}{\sigma}\right] \quad (3)$$

Lapis kedua merupakan kaidah operasi perkalian sebagai implikasi fuzzy. Titik pada lapis ini adalah tetap, dimana persamaan pada proses ini adalah:

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2, \dots$$

Lapis ketiga merupakan titik tetap, dimana keluaran lapisan ini merupakan perbandingan

antara satu titik dengan jumlah titik yang ada sebelumnya.

Persamaan pada proses ini adalah:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_i + w_2} \quad (4)$$

Lapis keempat merupakan lapis adaptif, dimana pada lapis ini dilakukan pembobotan atas hasil dari lapis sebelumnya.

$$O_{4,i} = w_i f_i = w_i (p_i x + q_i y + r) \quad (5)$$

Lapis kelima dilakukan defuzzifikasi nilai yang telah diproses pada lapis sebelumnya. Dari proses ini dihasilkan persamaan sebagai berikut:

$$O_{5,i} = \sum \bar{w}_i f_i = \frac{\sum w_i f_i}{\sum w_i} \quad (6)$$

2.3.1.1 Metoda Least Square Estimator

Jika diketahui keluaran dari model linier y yang diekspresikan melalui persamaan:

$$y = \theta_1 f_1(u) + \theta_2 f_2(u) + \dots + \theta_n f_n(u) \quad (7)$$

$y = [y_1, \dots, y_m]^T$ model vector output $u = [u_1, \dots, u_p]^T$ model vector input, f_1, \dots, f_n merupakan fungsi u yang diketahui dan $\theta_1, \dots, \theta_n$ merupakan parameter yang diestimasi.

Dengan menggunakan notasi matrik didapatkan:

$$A\theta = y \quad (8)$$

Penyelesaian terbaik untuk θ , yang meminimalkan $\|A\theta - y\|^2$ adalah least squares estimator (LSE) θ^* :

$$\theta^* = (A^T A)^{-1} A^T y \quad (9)$$

dimana A^T adalah transpose dari A

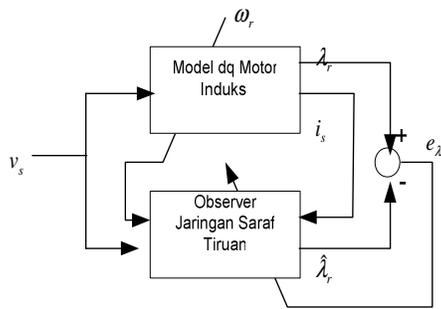
2.3.1.2 Metoda Steepest Descent

Metoda ini juga dikenal sebagai metoda gradient. Jika terdapat $G = \eta I$ dimana η mempunyai nilai positif dan I merupakan matrik, maka persamaan dari steepest descent adalah

$$\theta_{next} = \theta_{now} - \eta g \quad (10)$$

2.3.2 Modified ANFIS Observer

Pembelajaran Modified ANFIS menggunakan model motor induksi untuk mengidentifikasi kecepatan motor induksi, ditunjukkan pada Gambar 5. Penggunaan Modified ANFIS observer untuk mengidentifikasi kecepatan rotor motor induksi, sehingga dicapai Standar Error Estimasi (SEE).



Gambar 5. Skema pembelajaran off line Modified ANFIS observer untuk estimasi kecepatan

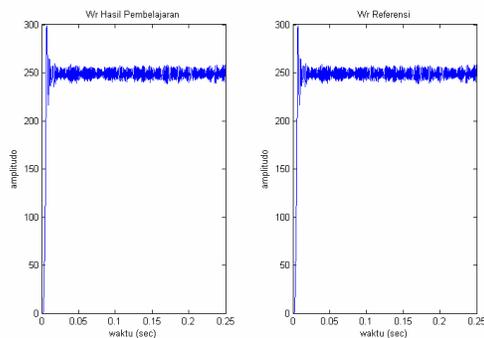
3. SIMULASI

Hasil simulasi Modified ANFIS observer yang dirancang menampilkan performansi motor induksi menggunakan model motor induksi dan performansi estimasi Modified ANFIS observer. Semakin kecil error yang dihasilkan, maka dapat dikatakan bahwa observer yang dirancang memiliki performansi yang tinggi (baik).

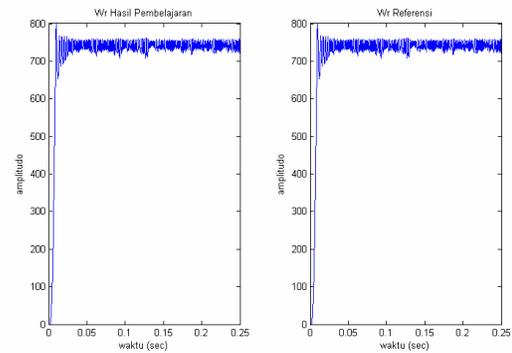
Model yang telah dikembangkan seperti Gambar 1, berikut ini beberapa hasil simulasi yang diperoleh untuk estimasi kecepatan. Performansi yang ditunjukkan menampilkan hasil simulasi pada kecepatan 250rpm, 750 rpm dan 1250 rpm. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 mengkasikan pola kecepatan rotor estimasi sesuai dengan kecepatan rotor aktual.

Data motor induksi yang digunakan dalam simulasi:

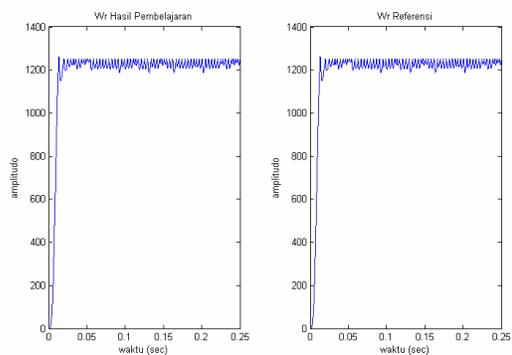
Tegangan 115 Volt
Jumlah pasang kutub 2 Frekuensi 60 Hz
Rr = 190 (ohm) Ls = 3,79 (H)
Lr = 3.31 (H) M = 3.21 (H)
J = 0.0000105 (Kg.m²) Kd = 1.9e-5(Kg.m²/s)
Im=0.08 (amper)



Gambar 6. Kecepatan rotor pada kecepatan referensi 250 rpm



Gambar 7. Kecepatan rotor pada kecepatan referensi 750 rpm



Gambar 8. Kecepatan rotor pada kecepatan referensi 1250 rpm

Tabel 1. Hasil Pengujian Modified ANFIS Obsever pada Referensi Kecepatan yang Berbeda

No	Kecepatan	Estimasi	Aktual	Error
1	250	0.995013	0.995013	0.000
2	500	1.013848	1.013848	0.000
3	750	0.962281	0.962281	0.000
4	1000	0.974146	0.974146	0.000
5	1250	0.996776	0.996776	0.000
6	1500	0.998156	0.998156	0.000

Pada tabel 1 ditunjukkan bahwa error yang dihasilkan adalah nol hal ini dikarenakan penggunaan LSE pada lapis keempat pada struktur ANFIS.

4. KESIMPULAN

Dalam makalah ini kontrol kecepatan tanpa sensor kecepatan yang dioperasikan dengan metoda Field Oriented Control (FOC) telah dibahas. Observer untuk estimasi kecepatan motor induksi menggunakan Modified ANFIS juga telah dijelaskan. Observer sebagai pengganti sensor kecepatan hanya memerlukan masukan tegangan dan arus stator, sedangkan keluarannya berupa kecepatan rotor estimasi. Dari hasil simulasi terlihat

bahwa Modified ANFIS observer dapat mengestimasi kecepatan rotor motor induksi, serta mempunyai Standart Error Estimasi (SEE) yang sangat baik..

Daftar Pustaka

- [1] Seong-Hwan Kim, Tae-Sik Park, Ji-Yoon Too, and Gwi-Tae Park, *Speed-Sensorless Vector Control of an Induction Motor using Neural Network Speed Estimation*, IEEE Trans. On Industry Application, Vol. 48, No. 3, June 2001.
- [2] Emanuele Cerruto, Alfio Consoli, Angelo Raciti, Antonio Testa, *Fuzzy Adaptive Vector Control of Induction Motor Drives*, IEEE Transaction On Power Electronics, Vol. 12, No. 6, November 1997.
- [3] Joechim Holtz, *Sensorless Speed and Position Control of Induction Motors*, 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON, Denver/Co, 29 Nov – 2 Des 2001.
- [4] Marko Hinkkanen, *Flux estimators For Speed-Sensorless induction Motor Drives*, Ph.D. thesis, Dept. Elect. Commun. Eng., Helsinki UnivTech., 2004.
- [5] Iradiratu DPK, *Perancangan Neural Network Observer Untuk Identifikasi Kecepatan Motor Induksi*, Tesis Program Studi Teknik Elektro, 2003.
- [6] Basuki Rahmat, Endra Joelianto, Kusmayanto Kadiman, *Modified Adaptive Neuro Fuzzy Inference System-Based Controller for Fed Batch Fermentation Process*, Proceeding SITIA, Mei 2001.
- [7] Basuki Rahmat, Endra Joelianto, Kusmayanto Kadiman, *Mapping Function for Efficient Training of Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)*, Proceeding SITIA, Mei 2001
- [8] Iradiratu DPK., *Perancangan Observer untuk Estimasi Kecepatan Motor Induksi Menggunakan ANFIS*, Prosiding SEE, Agustus 2004.
- [9] Abdul Salam Latuconsina, *Desain Adaptive Neura-Fuzzy Controller Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa bermetoda Field Oriented Control*, Tesis Program Studi Teknik Elektro, 2003
- [10] Luh Krisnawati, *Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Kontrol PID - Modified ANFIS*, Tesis Program Studi Teknik Elektro, 2002.

