PENERAPAN *SELF CONSTRUCTING FUZZY NEURAL NETWORK* SEBAGAI OBSERVER FLUKSI PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Sutedjo[1,2], Soebagio[2], Mauridhi Hery Purnomo[2]
[1)]Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111
Telp(+62)31-5947280 Fax(+62031-5946114
[2)]Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Abstrak

Kontrol kecepatan tanpa sensor kecepatan dari motor induksi tiga fasa yang dioperasikan dengan metoda vector kontrol perlu mengamati besar nilai tegangan dan arus stator, maka kecepatan motor dapat diprediksi, besar nilai parameter dan arus motor induksi akan mempengaruh nilai fluksi.

Dalam makalah ini untuk mengestimasi perubahan fluksi menggunakan Self Constructing Fuzzy Neural Network (SCFNN), metode pembelajarannya digunakan algoritma pembelajaran backpropagasi terkontruksi.

Hasil simulasi menunjukkan system dapat mengikuti respon model referensi yang ditentukan, hasil estimasi dapat digunakan untuk meng identifikasi fluksi motor induksi tiga fase.

***Kata kunci**: motor induksi, SCFNN, observer fluksi*

1. Pendahuluan

Metode kontrol vektor tanpa sensor kecepatan (speed sensorless vector control methods) untuk motor industri dikembangkan begitu pesat [1-4]. Dalam aplikasi sistem penggerak, kontrol loop tertutup mempunyai beberapa variabel yang penting yaitu torsi, dan kecepatan. Untuk memperoleh respon arus yang cepat, sebuah loop torsi akan digunakan untuk pengaturan kecepatan. Sedangkan untuk memperoleh respon torsi yang cepat diperlukan sebuah kontroler fluksi yang terpisah. Pemisahan kontroler fluksi dan torsi dinamakan kontrol vektor (*field oriented control*) [1-2].

Tidak seperti arus stator, fluksi rotor yang merupakan variabel keadaan dari model motor induksi sukar untuk diukur. Oleh karena itu digunakan suatu observer yang berfungsi sebagai estimasi fluksi, sehingga semua variabel keadaan yang dibutuhkan dapat diperoleh dan dimanfaatkan dalam sistem pengendalian [2]. Neural network observer dengan pembelajaran backpropagasi merupakan salah satu pengembangan observer yang dapat menunjukkan unjuk kerja yang baik sehingga dalam hasil simulasinya akan diperoleh error fluksi sebenarnya dan fluksi yang diramalkan dapat dijaga dengan interval yang kecil [4]. Namun pembelajaran backpropagasi mempunyai kelemahan yaitu arsitektur jaringan harus ditentukan secara tepat. Arsitektur jaringan yang terlalu kecil tidak akan menghasilkan estimasi dengan baik, tetapi jika ukuran arsitektur jaringan terlalu besar akan menyebabkan over-fitting sehingga generalisasi menjadi buruk. Oleh sebab itu dalam penelitian ini dirancang suatu observer yang dapat mengestimasi fluksi yang diperlukan pada pengontrolan motor induksi dengan menggunakan Self Constructing Fuzzy Neural Network (SCFNN) [5] dengan algoritma pembelajaran backpropagasi terkonstruksi (constructive backpropagation).

Algoritma backpropagasi terkonstruksi merupakan pengembangan dari algoritma backpropagasi yaitu mempunyai kemampuan untuk melakukan penyesuaian arsitektur jaringan dengan kompleksitas permasalahan yang dihadapi selama proses pembelajaran. Dengan aturan pembelajaran tersebut akan memperkecil error besaran sebenarnya dengan estimasi yang akan diperoleh. Metode ini telah diterapkan pada estimasi kecepatan, dengan hasil sangat baik [7].

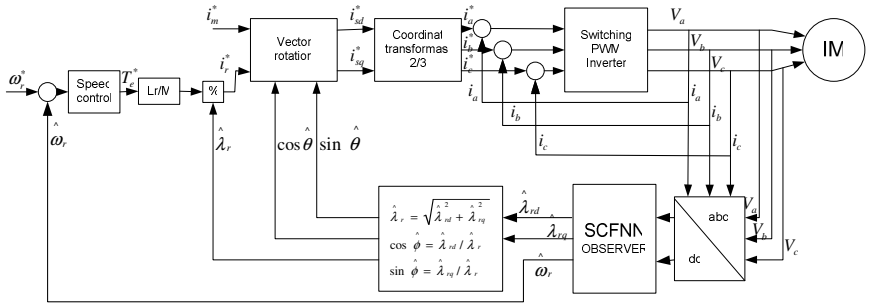
Dengan hasil simulasi estmasi kecepatan, estimasi fluksi juga menunjukkan hasil yang sangat baik mempunyai error yang kecil, dengan kata lain Self Constructing Fuzzy Neural Network Observer (SCFNNO) mampu melakukan estimasi fluksi motor induksi.

2. Modeling

2.1 Model Sistem

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.

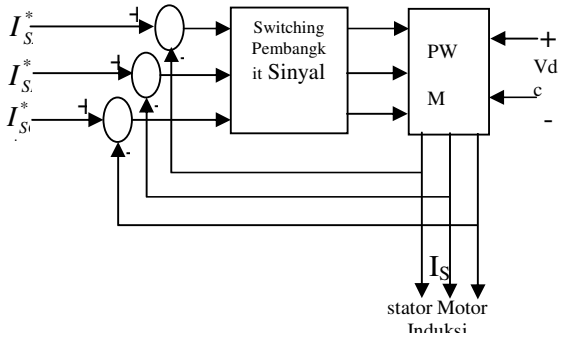
 ISBN: 979-756-061-6



Gambar 1. Konfigurasi Sistem Speed-Sensorless Vector Control untuk Motor Induksi dengan SCFNN [6]

2.2 Model Inverter

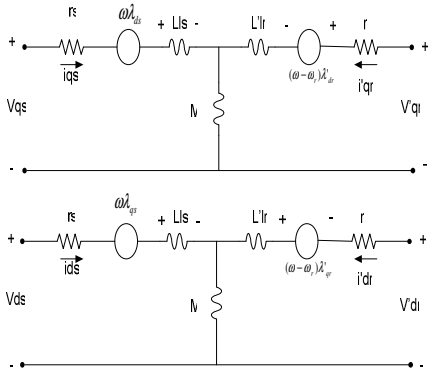
Vektor rotasi terhadap arus magnetisasi dan arus torsi menghasilkan arus fase referensi yang digunakan untuk sinyal control PWM inverter. Tegangan yang dihasilkan inverter akan digunakan oleh stator motor induksi. Model PWM inverter ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. PWM Inverter

2.3 Model Motor Induksi

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



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

Rangkaian ekivalen 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:

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

dengan

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

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

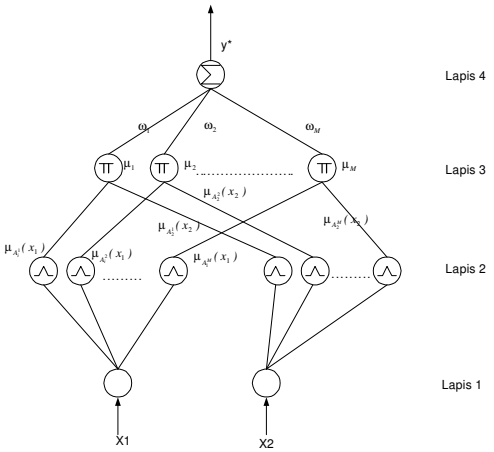
$$\begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + pL_s & 0 & pM & 0 \\ 0 & R_s + pL_s & 0 & pM \\ pM & \omega_r M & R_r + pL_r & \omega_r)L_r \\ -\omega_r M & pM & -\omega_r L_r & R_r + pL_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix}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

2.4 Model Observer

2.4.1 Struktur Self-Constructing Fuzzy Neural Networks

Kontroler ini masukannya adalah sebuah kontroler Fuzzy, sehingga masukannya adalah data numeric berupa nilai error. Nilai error didapat dengan menghitung selisih dari nilai set point dengan nilai keluaran dari plant. Fuzzy Kemudian selanjutnya diubah menjadi data linguistic. Strutur dasar dari sebuah Neural Networks, seperti Gambar 4.

ISBN: 979-756-061-6



Gambar 4. Struktur Dasar SCFN [5]

Pada lapisan pertama hanya terjadi proses masukan berupa data crisp yaitu error (X_1) dan Delta error (X_2) untuk meneruskan sinyal ke lapisan berikutnya.

Pada lapisan ke dua terjadi proses fuzyfikasi dan pembentukan membership fungsi. Fungsi yang dipergunakan adalah fungsi Gaussian.

$$u_{A_i^j} = \exp\left(\frac{\left(x_i - m_{ji}\right)^2}{\sigma_{ji}^2}\right) \tag{3}$$

dengan m_{ji} menentukan pusat fungsi keanggotaan dan σ_{ji} menentukan lebarnya.

Pada Lapis ketiga. merupakan penentuannya kondisi awal dari aturan fuzzy. Langkan ini adalah untuk memperoleh hasil perkalian antara semua komponen input dari error dan delta error dengan persamaan:
untuk jth rule node persamaan:

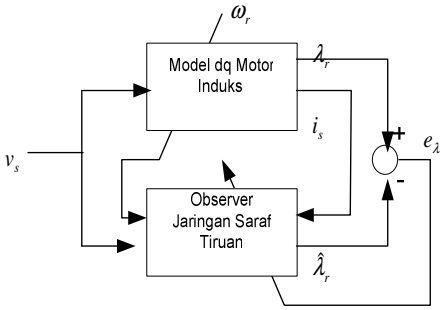
$$u_j = u_{A_1^j}(x_1)u_{A_2^j}(x_2)\cdots u_{A_n^j}(x_n) = \prod_i u_{A_i^j}(x_i) \tag{4}$$

dengan u_j adalah output node rule ke-j
Lapis ke empat: Berfungsi untuk menjumlahkan seluruh sinyal masukan yang disimbulkan dengan Σ kemudian dirumuskan dalam persamaan y^* yang selanjutnya dilakukan proses defuzzikasi;

$$y^* = \sum_{j=1}^{M} w_j u_j \tag{5}$$

2.4.2 SCFNN Observer

Pembelajaran SCFNN menggunakan model motor induksi untuk mengidentikasi fuksi motor induksi, ditunjukkan pada Gambar 5,. Penggunaan SCFNN observer untuk mengidentifikasi fluk rotor motor induksi, sehingga dicapai Standar Error Estimasi (SEE).



Gambar 5. Skema pembelajaran *off line* SCFNN observer untuk estimasi fluksi

3. Simulasi

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

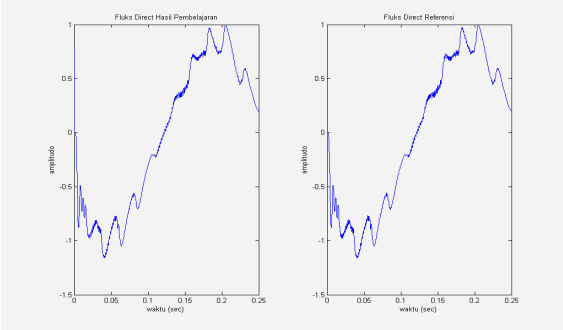
Model yang telah dikembangkan seperti Gambar 1, berikut ini beberapa hasil simulasi yang diperoleh untuk estimasi fluksi. Performansi yang ditunjukkan menampilkan hasil simulasi pada kecepatan 100 rpm, 1000 rpm dan 1500 rpm. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 6, 7, 8, 9, 10 dan 11.

Data motor induksi yang digunakan dalam simulasi:

Tegangan115 Volt Jumlah pasang kutub 2

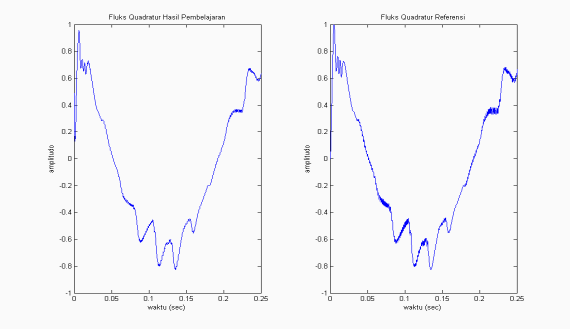
Frekuensi 60 Hz	Rr = 190 (ohm)
Ls = 3,79 (H)	Lr = 3.31 (H)
M = 3.21 (H)	J = 0.0000105 (Kg.m^2)
Kd = 1.9e-5(Kg.m^2/s)	Im=0.08 (amper)

ISBN: 979-756-061-6



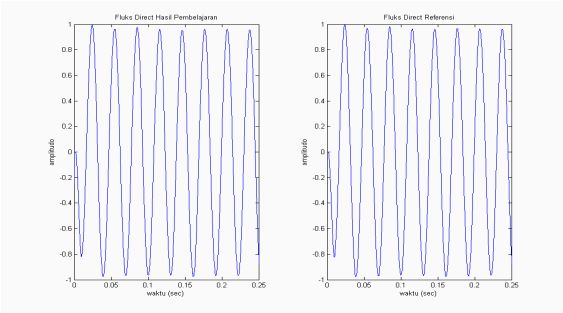
(a) (b)

Gambar 6. Bentuk Fluksi Sumbu d_r Pada Referensi Kecepatan 100 rpm
a. Fluksi Pembelajaran b. Fluksi Referensi



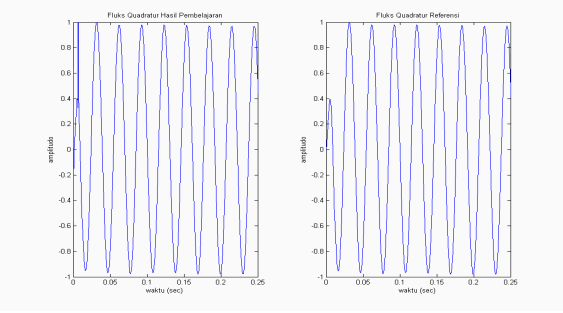
(a) (b)

Gambar 7. Bentuk Fluksi Sumbu q_r Pada Referensi Kecepatan 100 rpm
a. Fluksi Pembelajaran b. Fluksi Referensi



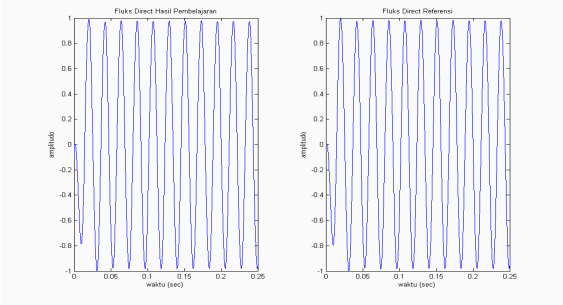
(a) (b)

Gambar 8. Bentuk Fluksi Sumbu d_r Pada Referensi Kecepatan 1000 rpm
a. Fluksi Pembelajaran b. Fluksi Referensi



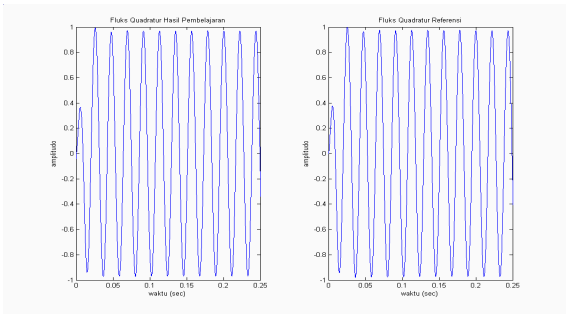
(a) (b)

Gambar 9. Bentuk Fluksi Sumbu q_r Pada Referensi Kecepatan 1000 rpm
a. Fluksi Pembelajaran b. Fluksi Referensi



(a) (b)

Gambar 10. Bentuk Fluksi Sumbu d_r Pada Referensi
Kecepatan 1500 rpm
a. Fluksi Pembelajaran b. Fluksi Referensi



(a) (b)

Gambar 11. Bentuk Fluksi Sumbu q_r Pada Referensi
Kecepatan 1500 rpm
a. Fluksi Pembelajaran b. Fluksi Referensi

 ISBN: 979-756-061-6

Tabel 1. Hasil Pengujian SCFNN Obsever Fluksi pada Referensi Kecepatan yang Berbeda

N0	*Kecepatan (rpm)*	*Hasil pada*	*Output Pembelajaran*	*Output Referensi*	*Error*
1	100	λ_{dr}	0,786523	0,781918	0.004605
		λ_{qr}	0,485823	0,504536	0,018713
2	300	λ_{dr}	-0,640559	-0,624679	0.015880
		λ_{qr}	0,725485	0,709374	0,016111
3	500	λ_{dr}	-0,720744	-0,709768	0,010976
		λ_{qr}	-0,618627	-0,637984	0,019357
4	750	λ_{dr}	-0,492676	-0,491116	0,001560
		λ_{qr}	-0,777962	-0,828988	0,031026
5	1000	λ_{dr}	-0,783354	-0,770144	0,013210
		λ_{qr}	-0,559269	-0,585654	0,026385
6	1500	λ_{dr}	0,971532	0,978761	0,007229
		λ_{qr}	-0,076147	-0,003932	0,032215

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan terhadap SCFNN observer maka dapat disimpulkan:

a. Estimasi fluksi dari motor induksi untuk meningkatkan kinerja dari drive tanpa sensor kecepatan telah diajukan. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa SCFNN observer dapat bekerja dengan baik dalam melakukan estimasi fluksi mulai dari referensi kecepatan yang diberikan yaitu 100 rpm sampai referensi kecepatan 1500 rpm.
b. SCFNN observer yang dirancang mampu mengestimasi fluksi rotor dengan baik yang ditunjukkan pada tabel 1.
c. Dengan error kecil λ_{dr}= 0,004605, λ_{qr} = 0,018713 (referensi kecepatan 100 rpm), secara lengkap ditunjukkan pada tabel 1 dan hasil tersebut masih dibawah 5% berarti masih dibawah nilai Standar Error Estimasi (SEE) yang diperbolehkan.

Daftar Pustaka

[1] H. Kubota, K. Matsuse, and T. Nakano, "*DSP-Based speed adaptive flux observer of induction motor*", IEEE Trans. Ind. Applicant., vol 29, pp 344-348, Mar/Apr. 1993.

[2] Jehudi Maes and Jan A. Melkebeek, "*Speed Sensorless Direct Torque Control of Induction Motors Using an Adaptive Observer*", IEEE Trans. On Industry Application, Vol. 36, No. 3, May/June, 2000.

[3] Eng Kian Kenneth Sng, Ah-choy Liew, and Thomas A. Lipo, "*New Observer Based DFO Scheme for Speed Sensorless Field Oriented Drive for Low-Zero-Speed Operating*", IEEE Trans. On IndustryApplication, Vol.13, No.5, Sep 1998.

[4] J. Thecharis and V. Petridis, "*Neural Network Observer for Induction Motor Control*", IEEE Control System, April 1994.

[5] Faa-Jeng Lin, and Chih-Hong Lin, A Permanent-magnet Synchronous Motor Servo Drive Using Self – Constructing fuzzy Neural Network Controller, IEEE Trans. On *Energy Conversion*, Vol. 19, No. 1, March 2004.

[6] Iradiratu DPK, Perancangan Neural Network Observer Untuk Identifikasi Kecepatan Motor Induksi, *Tesis*, Pasca Sarjana ITS 2003.

[7] Sutedjo, Soebagio dan Mauridhi Hery Purnomo, Kendali Kecepatan Motor Induksi Tanpa Sensor Kecepatan Menggunakan Self Conructing Fuzzy Neural Network, *Seminar Nasional XII* FTI-ITS-29-Maret- 2005.