

PERBANDINGAN NEURAL NETWORK (NN) OBSERVER DAN NEURAL NETWORK-GENETIC ALGORITHM (NN-GA) OBSERVER UNTUK ESTIMASI KECEPATAN MOTOR INDUKSI

Bambang Purwahyudi¹, Soebagio², Mauridhi Hery Purnomo²

¹⁾ Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya
Jl. A. Yani No. 114 Surabaya, Email: bmb_pur@telkom.net, bmb_pur@yahoo.com

²⁾ Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya 60111.

Abstrak

Dalam makalah ini membahas perbandingan kontrol kecepatan tanpa sensor kecepatan motor induksi yang dioperasikan dengan metoda field oriented control (FOC). Kecepatan motor induksi diestimasi oleh suatu observer. Estimasi kecepatan motor oleh observer hanya memerlukan masukan tegangan dan arus stator. Metode observer yang dibandingkan adalah antara Neural Network (NN) dan Neural Network-Genetic Algorithm (NN-GA). Algoritma pembelajaran NN yang digunakan kedua metode ini menggunakan backpropagasi, sedangkan GA pada metoda kedua digunakan untuk mengoptimasi parameter-parameter NN sehingga diperoleh struktur NN yang sederhana. Kedua Observer dirancang untuk menentukan pola kecepatan sudut rotor, sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengendalian kecepatan motor induksi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa NN-GA observer mempunyai Standart Error Estimasi lebih baik dibandingkan dengan NN Observer dan kedua observer dapat mengestimasi kecepatan rotor motor induksi.

Kata kunci: Neural Network-Genetic Algorithm, Observer, Field Oriented Control.

1. Pendahuluan

Pada umumnya motor dc banyak digunakan di industri, karena motor dc mempunyai kelebihan, yaitu putarannya mudah diatur. Adapun kelemahan motor dc adalah harganya yang relative mahal, konstruksi yang besar, adanya komutator dan memerlukan pemeliharaan dalam pemakaian. Kelemahan motor dc tersebut menyebabkan aplikasinya pada industri telah banyak digantikan dengan motor induksi yang memiliki konstruksi yang sederhana dan kokoh, harganya murah dan perawatannya mudah. Namun motor induksi memiliki kelemahan yaitu tidak dapat mempertahankan kecepatannya dengan konstan bila terjadi perubahan beban.

Pengaturan kecepatan motor induksi sulit dilakukan, tetapi setelah adanya *Field Oriented Control (FOC)* permasalahan tersebut dapat diatasi. *Field Oriented Control (FOC)* yang juga dikenal sebagai *Vektor Control* adalah suatu metode pengaturan medan pada motor ac, dari sistem coupled diubah menjadi decoupled. Dengan system ini arus eksitasi dan arus beban dapat dikendalikan terpisah, sehingga torsi dan fluksi juga dapat diatur secara terpisah seperti motor dc.

Aplikasi motor induksi di industri diperlukan pengoperasian kecepatan yang bervariasi. Kecepatan yang bervariasi diperoleh dengan system loop tertutup, sehingga diperlukan sensor kecepatan. Namun sensor kecepatan mempunyai kelemahan, yaitu kurang akuratnya hasil pengukuran yang diakibatkan penempatan sensor terlalu jauh dari system pengendalian sehingga tidak efektif untuk system pengendalian dengan plant yang besar (1-6).

Sejak tahun 1980 yang lalu, metode kendali tanpa sensor kecepatan motor induksi menggunakan estimasi kecepatan sebagai pengganti kecepatan yang diukur telah dipelajari. Metode ini mengestimasi kecepatan dari nilai sesaat tegangan dan arus stator menggunakan model motor induksi. Baru-baru ini, pendekatan-pendekatan lain seperti metode model reference adaptif system (*MRAS*), algoritma filter Kalman, dan lain-lain, telah diterapkan untuk mencapai performansi estimasi kecepatan yang akurat dan robust (3-6). Tetapi, motor induksi adalah nonlinear dynamic plant dan parameter-parameternya berbeda menurut waktu dan kondisi pengoperasian. Oleh karena itu, motor induksi sangat sulit untuk memperoleh performansi yang baik untuk keseluruhan skala kecepatan dan keadaan transient menggunakan metoda sebelumnya.

Penggunaan Neural Network (NN) untuk identifikasi dan kendali system dinamik nonlinear telah diajukan (7-13) karena dapat mendekati lebar range fungsi nonlinear ke tingkat akurasi yang diinginkan. Lebih dari itu, penggunaan NN mempunyai keuntungan perhitungan paralel sangat cepat, bebas dari ripple harmonisa input dan karakteristik toleransi kesalahan. Sejak tahun 1990, telah ada beberapa penyelidikan dalam aplikasi NN untuk power electronics dan ac drive (10-14,17).

Untuk memilih jaringan *neural network* menghadapi masalah dengan besar jaringan yang tepat untuk dipilih, yaitu : jumlah node tersembunyi (*hidden node*) dan jumlah pemberat (bobot) yang digunakan. Biasanya pengguna *neural network* untuk menentukan arsitektur jaringan yang

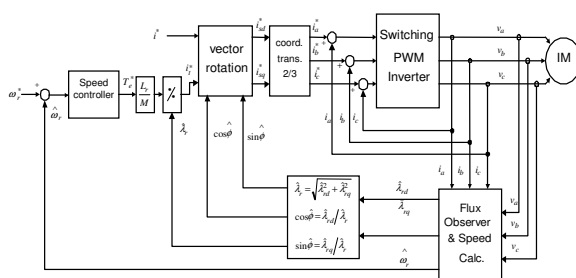
digunakan yaitu dengan perkiraan berdasarkan pengalaman dan insting. Cara lain yaitu dengan mencoba-coba beberapa macam jaringan beserta ukurannya dan kemudian dipilih yang sesuai. Untuk mengoptimalkan arsitektur jaringan tersebut maka digunakan teknik optimasi *genetic algorithm*. *Genetic algorithm* sendiri bekerja dengan sebuah populasi yang terdiri dari individu-individu dimana masing-masing individu merepresentasikan sebuah solusi bagi persoalan yang dinyatakan dengan sebuah nilai kebugaran (*fitness*) (15,16,18). Dengan optimasi arsitektur *neural network* oleh *genetic algorithm* ini, neural network mempunyai struktur yang lebih sederhana sehingga dapat bekerja dengan cepat dan tepat.

Sasaran dari penelitian ini adalah membandingkan dua metode observer yang mampu mengestimasi kecepatan rotor motor induksi sebagai pengganti sensor kecepatan.

2. Dasar Teori

2.1 Model Sistem

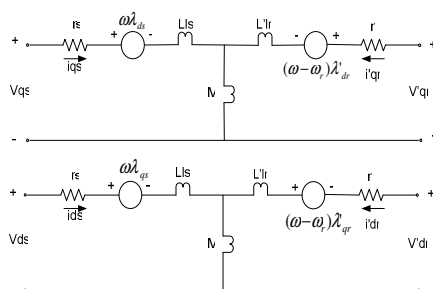
Diagram blok system yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Perbedaannya terletak pada metoda yang digunakan dalam Fluks Observer dan Speed Calculation.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem (17,18)

2.2 Model Motor Induksi

Rangkaian ekivalen motor induksi dalam koordinat d-q dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 2. Rangkaian Ekivalen Model d-q Motor Induksi

Persamaan motor induksi dalam koordinat d-q:

a. Persamaan tegangan stator

$$\bar{V}_s = R_s \bar{I}_s + \frac{d}{dt} \bar{\lambda}_s + j\omega_s \bar{\lambda}_s \quad (1)$$

dengan

$$\bar{V}_s = v_{ds} + jv_{qs}$$

$$\bar{I}_s = \bar{i}_{ds} + j\bar{i}_{qs}$$

$$\bar{\lambda}_s = \bar{\lambda}_{ds} + j\bar{\lambda}_{qs}$$

b. Persamaan tegangan rotor

$$\bar{V}_r = R_r \bar{I}_r + \frac{d}{dt} \bar{\lambda}_r + j(\omega_s - \omega_r) \bar{\lambda}_r \quad (2)$$

dengan

$$\bar{V}_r = v_{dr} + jv_{qr}$$

$$\bar{I}_r = \bar{i}_{dr} + j\bar{i}_{qr}$$

$$\bar{\lambda}_r = \bar{\lambda}_{dr} + j\bar{\lambda}_{qr}$$

c. Persamaan torsi elektromagnetik

Persamaan torsi elektromagnetik (T_e) sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{p}{2} \frac{M}{L_r} (\lambda_{rd} i_{sq} - \lambda_{rq} i_{sd}) \quad (3)$$

d. Kecepatan angular

Kecepatan angular motor merupakan fungsi dari torsi elektromagnetik dan torsi beban

$$\frac{j}{p} \frac{d\omega_r}{dt} + K_g \omega_r = T_e - T_L \quad (4)$$

dengan

K_g = konstanta gesekan ($\text{kg.m}^2/\text{dt}$)

J = momen inersia (kg.m^2)

ω_r = kecepatan angular rotor (rad/dt)

e. Fluksi linkage

Fluksi linkage didefinisikan sebagai besarnya medan putar pada kumparan dengan jumlah N lilitan.

$$\bar{\lambda}_s = L_s \bar{I}_s + M \bar{I}_r \quad (5)$$

$$\bar{\lambda}_r = L_r \bar{I}_r + M \bar{I}_s \quad (6)$$

dengan

λ_s = fluksi linkage pada kumparan stator dengan N lilitan

λ_r = fluksi linkage pada kumparan rotor dengan N lilitan

L_s = induktansi diri kumparan stator (H)

L_r = induktansi diri kumparan rotor (H)

I_s = arus stator (A)

I_r = arus rotor (A)

Secara sederhana persamaan motor induksi dalam bentuk persamaan variabel keadaan adalah sebagai berikut (14):

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \mathbf{i}_s \\ \lambda_r \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} \\ \mathbf{A}_{21} & \mathbf{A}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{i}_s \\ \lambda_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \\ 0 \end{bmatrix} \mathbf{v}_s \\ &= \mathbf{Ax} + \mathbf{Bv}_s \end{aligned} \quad (7)$$

dengan

$$\mathbf{i}_s = \mathbf{Cx}$$

$$\mathbf{i}_s = \begin{bmatrix} i_{sd} & i_{sq} \end{bmatrix}^T : \text{ arus stator}$$

$$\lambda_r = \begin{bmatrix} \lambda_{rd} & \lambda_{rq} \end{bmatrix}^T : \text{ fluksi rotor}$$

$$\mathbf{v}_s = \begin{bmatrix} v_{sd} & v_{sq} \end{bmatrix}^T : \text{ tegangan stator}$$

$$\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s L_r} : \text{ koefisien linkage}$$

$$\tau_r = \frac{L_r}{R_r} : \text{ konstanta waktu rotor}$$

$$\mathbf{A}_{11} = -\{R_s/(\sigma L_s) + (1-\sigma)/(\sigma\tau_r)\} \mathbf{I} = a_{r11} \mathbf{I}$$

$$\mathbf{A}_{12} = M/(\sigma L_s L_r) \{ (1/\tau_r) \mathbf{I} - \omega_r \mathbf{J} \} = a_{r12} \mathbf{I} + a_{i12} \mathbf{J}$$

$$\mathbf{A}_{21} = (M/\tau_r) \mathbf{I} = a_{r21} \mathbf{I}$$

$$\mathbf{A}_{22} = -(1/\tau_r) \mathbf{I} + \omega_r \mathbf{J} = a_{r22} \mathbf{I} + a_{i22} \mathbf{J}$$

$$\mathbf{B}_1 = 1/(\tau L_s) \mathbf{I} = b_1 \mathbf{I}$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} ; \quad \mathbf{J} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

2.3 PWM Inverter

Vektor rotasi terhadap arus magnetisasi dan arus torsi menghasilkan arus fase referensi yang digunakan untuk sinyal kontrol PWM inverter. Prosedur pensaklaran (*switching*) diperlihatkan pada Gambar 2.2, dengan uraian sebagai berikut:

a. Untuk kumparan stator fase A

$$\text{If } i_{err} < i_a^* - i_a \text{ then } V_{sa} = E_s - ph$$

$$\text{If } -i_{err} \leq i_a^* - i_a \leq i_{err} \text{ then } V_{sa} = 0$$

$$\text{If } i_a^* - i_a < -i_{err} \text{ then } V_{sa} = -E_s - ph$$

b. Untuk kumparan stator fase C

$$\text{If } i_{err} < i_c^* - i_c \text{ then } V_{sc} = E_s - ph$$

$$\text{If } -i_{err} \leq i_c^* - i_c \leq i_{err} \text{ then } V_{sc} = 0$$

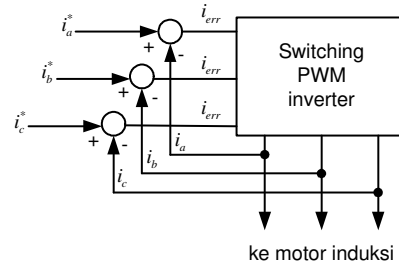
$$\text{If } i_c^* - i_c < -i_{err} \text{ then } V_{sc} = -E_s - ph$$

c. Untuk kumparan stator fase B

$$\text{If } i_{err} < i_b^* - i_b \text{ then } V_{sb} = E_s - ph$$

$$\text{If } -i_{err} \leq i_b^* - i_b \leq i_{err} \text{ then } V_{sb} = 0$$

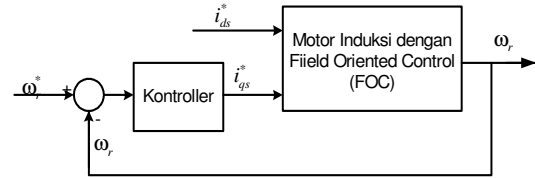
$$\text{If } i_b^* - i_b < -i_{err} \text{ then } V_{sb} = -E_s - ph$$



Gambar 3. PWM inverter

2.4 Field Oriented Control (FOC)

Field Oriented Control (FOC) adalah suatu metoda pengaturan medan pada motor ac, dengan mengubah sistem couple menjadi sistem decouple. Sistem ini mengacu pada transformasi model motor induksi dalam koornidat d-q dengan memisahkan antara arus medan (i_d) dan arus torka (i_q) melalui sebuah transformasi koordinat sehingga motor induksi dapat dipisahkan, antara fluksi dan torka. Diagram pengaturan motor induksi dengan mengatur arus medan dan arus torka dapat dilihat pada Gambar 5.

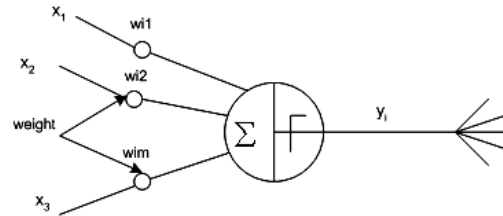


Gambar 4. Kecepatan Motor Induksi berbasis FOC

2.5 Model Observer

a. Neural Network

Neural Network (jaringan syaraf tiruan) adalah sistem pemrosesan informasi yang memiliki karakteristik performansi seperti neuron (sel syaraf) otak manusia. Neuron biologi memiliki tiga tipe komponen yang berhubungan dengan pemahaman cara kerja dari Artificial Neural Network yaitu dendrite, soma, dan axon. Dendrite menerima sinyal dari neuron yang lain. Soma atau sel body menjumlahkan sinyal yang datang. Ketika input yang cukup diterima, sel akan mentransmisikan sinyal tersebut melalui axon ke sel yang lain. Neuron buatan ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Neuron Buatan (16)

Pada neural network setiap node dihubungkan dengan node lain melalui hubungan secara langsung menggunakan pemberat (bobot) masing-masing. Tiap node memiliki state internal dinamakan level aktivasi yang merupakan fungsi dari input yang diterima.

Istilah belajar (*learning*) pada *neural network* adalah proses pengaturan bobot-bobot sambungan antarnode yang dilakukan dengan metode tertentu, sehingga didapat bobot-bobot sambungan yang diinginkan. Proses belajar terjadi karena antara output yang dihasilkan *neural network* tidak sama dengan output yang diharapkan. Dengan kata lain bila bobot sambungan yang ada belum mampu menghasilkan output yang diharapkan maka bobot akan diatur oleh metode tertentu melalui latihan terus-menerus sehingga didapat susunan bobot yang baru dan lebih baik. Dengan susunan bobot ini maka perbedaan antara output *neural network* dan output pola akan semakin kecil. Dengan demikian berarti output yang dikeluarkan *neural network* akan sama dengan output yang diharapkan (output target). Setelah dilatih, maka *neural network* siap diuji dan dipakai. Pengujian dikatakan berhasil bila *neural network* sanggup menerima input dan mengeluarkan output seperti yang diharapkan.

Berdasarkan penyediaan output dan input maka metode belajar *neural network* dibagi menjadi dua yaitu: *supervised learning* (pembelajaran terawasi) dan *unsupervised learning* (pembelajaran tak terawasi). Salah satu metode pembelajaran terawasi yang terkenal adalah backpropagation.

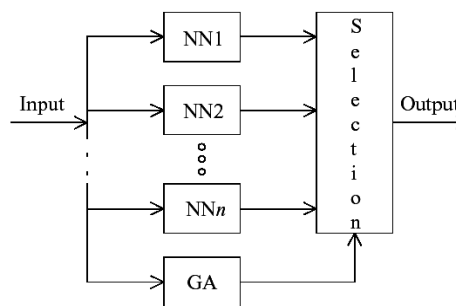
b. Neural Network-Genetic Algorithm

Algoritma genetika merupakan teknik optimasi yang ditiru dari proses evolusi makhluk hidup. Teknik ini sebenarnya teknik acak untuk menemukan nilai optimal dari suatu fungsi yang memanfaatkan prinsip-prinsip evolusi sehingga hasilnya lebih terarah. Prinsip evolusi tersebut adalah sebagai berikut : suatu persoalan ditentukan terlebih dahulu kandidat pemecahannya, masing-masing kandidat disebut individu. Individu adalah mempunyai kromosom, yaitu sekumpulan gen. Gen ini adalah komponen pemecahan permasalahan tersebut. Sekumpulan individu ini dikenal sebagai populasi. Masing-masing individu dihitung daya tariknya, yang dikenal sebagai nilai kebugarannya (*fitness value*). Dengan terjadinya proses tarik menarik antar individu akan terjadi proses perkawinan. Dalam proses perkawinan akan terjadi proses pertukaran gen antar individu sehingga diperoleh keturunan yang baik.

Secara umum dalam aplikasi GA akan melalui siklus yang terdiri dari 4 langkah, yaitu: (1) membangun sebuah populasi yang terdiri dari beberapa individu/string, (2) evaluasi masing-masing individu (*fitness value*), (3) proses seleksi agar didapat string yang baik, dan (4) manipulasi

genetika untuk menciptakan populasi baru dari individu.

Dalam penelitian ini dikombinasikan antara Neural Network dan Genetik Algoritm. Populasi-populasi GA dibentuk oleh pembobot (*weight*) dari n jumlah struktur NN yang dibuat. Dengan empat macam siklus akan diperoleh populasi yang baru yang berarti bahwa diperoleh juga struktur NN yang lebih sederhana. Gambar 6. meunjukkan kombinasi antara NN dan GA.

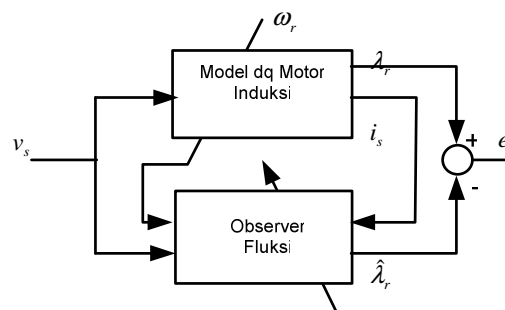


Gambar 6. Kombinasi NN-GA (15)

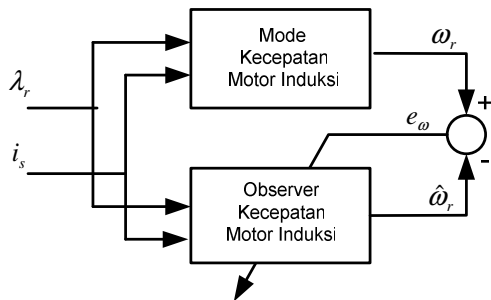
c. Observer

Perancangan software yang dilakukan dalam penelitian ini untuk membandingkan dua metode observer, yaitu NN dan NN-GA untuk mengestimasi kecepatan motor induksi. Penggunaan dua metode observer untuk mengestimasi kecepatan motor induksi diharapkan estimasi kecepatan yang diperoleh menghasilkan error yang lebih baik dan mampu melakukan estimasi kecepatan rotor motor induksi.

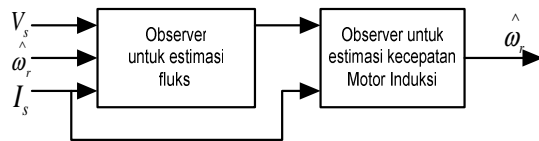
Proses pembelajaran observer menggunakan model motor induksi untuk estimasi kecepatan motor induksi ditunjukkan pada Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9. Penggunaan observer untuk mengestimasi kecepatan rotor motor induksi, sehingga diperoleh Standar Error Estimasi (SEE) yang kecil.



Gambar 7. Skema pembelajaran observer fluksi



Gambar 8. Skema pembelajaran observer kecepatan Motor Induksi

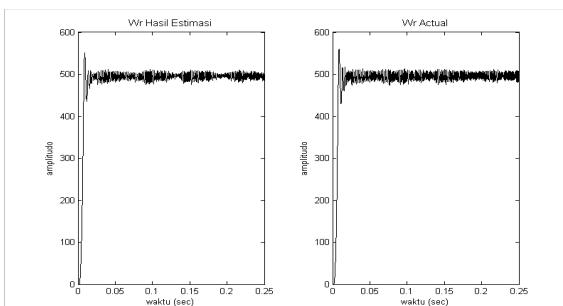


Gambar 9. Diagram Blok konfigurasi observer fluksi dan observer kecepatan saat digunakan

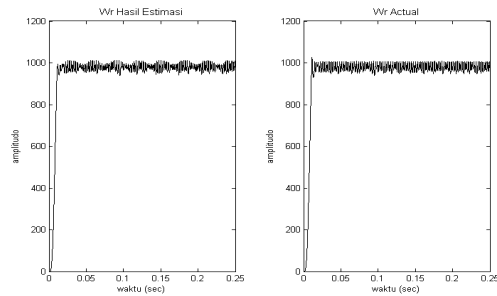
3. Simulasi dan Analisis

Simulasi dilakukan dengan membandingkan antara hasil kecepatan rotor aktual dari pemodelan motor induksi dengan hasil kecepatan rotor estimasi dari observer. Sedangkan nilai parameter motor induksi yang digunakan untuk simulasi adalah sebagai berikut : Tegangan 115 Volt, 2 pasang kutub, 60 Hz, $R_s = 176 \Omega$, $R_r = 190 \Omega$, $L_s = 3,79 \text{ H}$, $L_r = 3.31 \text{ H}$, $M = 3.21 \text{ H}$, $J = 0.0000105 \text{ Kg.m}^2$, $K_d = 1.9e-5 \text{ Kg.m}^2/\text{s}$, $Im=0.08 \text{ A}$.

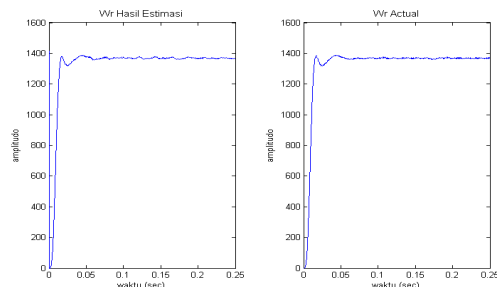
Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11 menunjukkan hasil simulasi Neural Network-Genetic Algorithm (NN-GA) observer dan menghasilkan pola kecepatan rotor estimasi sesuai dengan kecepatan rotor aktual.



Gambar 9. Kecepatan Rotor ω_r untuk kecepatan 500 rpm

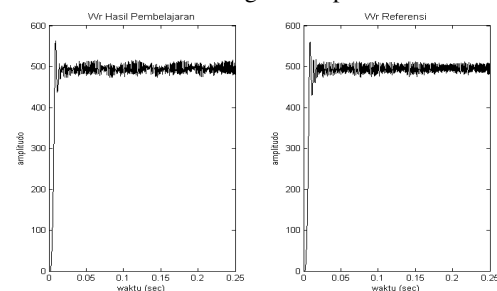


Gambar 10. Kecepatan Rotor ω_r untuk kecepatan 1000 rpm

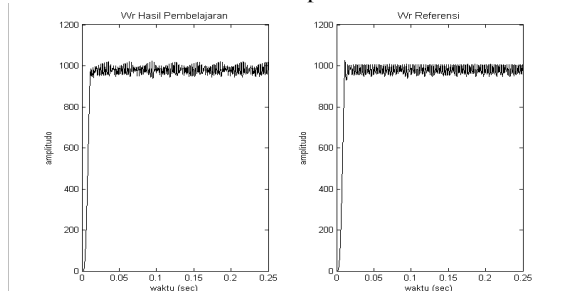


Gambar 11. Kecepatan Rotor ω_r untuk kecepatan 1500 rpm

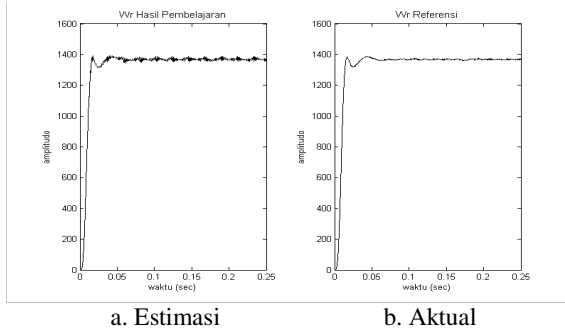
Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14 menunjukkan hasil simulasi Neural Network (NN) observer dan juga menghasil-kan pola kecepatan rotor estimasi sesuai dengan kecepatan rotor aktual.



Gambar 12. Kecepatan Rotor ω_r untuk kecepatan 500 rpm



Gambar 13. Kecepatan Rotor ω_r untuk kecepatan 1000 rpm



a. Estimasi b. Aktual
Gambar 14. Kecepatan Rotor ω_r untuk kecepatan 1500 rpm

Perbandingan kedua observer untuk keadaan kecepatan berbeda ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Dari perbandingan nilai Standar Error Estimasi (SEE) terlihat bahwa untuk kecepatan 250 rpm sampai 1500 rpm mempunyai eror sesuai dengan SEE dan NN-GA observer mempunyai SEE yang lebih kecil dibandingkan dengan NN observer. Disamping itu, NN-GA mempunyai epoch dan jumlah pembobot yang lebih sedikit.

Tabel 1. Perbandingan nilai SEE NN dan NN-GA observer pada kecepatan berbeda

Kecepatan Rotor (rpm)	Standard Error Estimasi (%)	
	NN observer	NN-GA observer
250	0.945	0.766
500	1.267	1.112
750	1.194	0.473
1000	0.912	0.405
1250	0.603	0.546
1500	0.365	0.231

Tabel 2. Perbandingan Jumlah Epoch dan Jumlah Pembobot yang hidup

Kecepatan Rotor (rpm)	Jumlah Epoch		Jumlah Pembobot	
	NN	NN-GA	NN	NN-GA
250	250	20	25	15
500	250	20	25	15
750	250	20	25	12
1000	250	20	25	12
1250	250	20	25	14
1500	250	20	25	12

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 NN dan NN-GA juga telah dijelaskan. Observer sebagai pengganti sensor kecepatan hanya memerlukan masukan tegangan dan arus stator, sedangkan keluarannya berupa fluksi rotor dan kecepatan rotor estimasi. Dari hasil simulasi terlihat bahwa NN observer dan NN-GA observer dapat

mengestimasi kecepatan rotor motor induksi, serta NN-GA observer mempunyai Standart Error Estimasi (SEE) lebih baik dibandingkan dengan NN.

Daftar Pustaka

- [1] Vas P, *Vector Control of AC Machines*, Oxford, U.K.: Clarendon, 1992.
- [2] Ohtani T., Takada N., dan Tanaka K., "Vector control of induction motor without shaft encoder," in *Conf. Rec. IEEE-IAS. Annu. Meeting*, 1989, hal. 500–507.
- [3] Schauder C., *Adaptive speed identification for vector control of induction motor without rotational transducers* in *Conf. Rec. IEEE-IAS. Annu. Meeting*, 1989, hal. 493–499.
- [4] Tamia H. dan Hori Y., *Speed sensorless field-orientation control of the induction machine*, IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 29, hal. 175–180, Jan./Feb. 1993.
- [5] Kubota, *DSP – based speed adaptive flux observer of induction motor*, IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 29, hal. 344–348, Mar./Apr. 1993.
- [6] Henneberger G., Bransbash B.J., dan Klepsch T, *Field oriented control of synchronous and asynchronous drives without mechanical sensors using a Kalman filter* in *Proc. EPE'91*, Florence, Italy, 1991, hal. 664–671.
- [7] Narendra KS. dan Parthasarathy K, *Identification and control of dynamical systems using neural networks*, IEEE Trans. Neural Networks, vol. 1, hal. 4–27, Maret 1990.
- [8] Chen FC dan Khalil HK, *Adaptive control of a class of nonlinear discrete-time systems using neural networks*, IEEE Trans. Automat. Contr., vol. 1, hal. 791–801, Mai 1995.
- [9] Gupta M. M. dan N. K. Sinha N. K., *Intelligent Control Systems*, New York: IEEE Press, 1996.
- [10] Simoes M.G. dan Bose B. K., *Neural network based estimation of feedback signals for a vector controlled induction motor drive*, IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 31, hal. 620–629, May/June 1995.
- [11] Wishart M. T. dan R. G. Harley, *Identification and control of induction machines using artificial neural networks*, IEEE Trans. Ind Applicat., vol. 31, hal. 612–619, May/June 1995.
- [12] Fodor D., Six J. P., dan Diana D., *Neural networks applied for induction motor speed sensorless estimation*, in *Proc. ISIE'95*, 1995, hal. 181–186.
- [13] Ben-Brahim I. dan T. Kudor, *Implementation of an induction motor speed estimator using neural networks*, in *Proc. IPEC*, 1995, hal. 52–57.

- [14] Kim S. H., Park T.S., Yoo J.Y., Park G.T., dan Kim N.J., *Speed-Sensorless Vector Control of an Induction Motor Using Neural Network Speed Estimation*, IEEE Trans. On Industrial Appl., vol 48, hal. 609-614, June 2001.
- [15] Montana, David J., *Neural Network Weight Selection Using Genetic Algorithms*, Bolt Beranek and Newman Inc., Cambridge, MA 02138.
- [16] Son Kuswadi, *Kendali Cerdas (Intelligence Control)*, EEPIS, Press, Surabaya, 2000.
- [17] Iradiratu D.P.K., *Perancangan Neural Network Observer Untuk Identifikasi Kecepatan Motor Induksi*, Thesis ITS, Surabaya, 2003.
- [18] Bambang Purwahyudi, Soebagio, Mauridhi Hery P., *Perancangan Neural Network-Genetic Algorithm(NN-GA) Observer Untuk Identifikasi Kecepatan Motor Induksi*, Proc. SITIA 2005, Jur. Tek.Elektro ITS, 2 Mei 2005, hal 436-441.