

DESAIN OPTIMASI KECEPATAN MOTOR INDUKSI MENGUNAKAN HYBRID ANFIS (*ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM*) DENGAN PID-PSO (*PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE – PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*) CONTROLLER

Hartanto⁽¹⁾, Arif Rochmansyah⁽¹⁾, Kadaryono⁽²⁾, Hidayatul Nurohmah⁽¹⁾

⁽¹⁾Teknik Elektro, Universitas Darul 'Ulum, Jombang

⁽²⁾Teknik Mesin, Universitas Darul 'Ulum, Jombang

tantobjg@gmail.com, arif.rochmansyah@gmail.com, kadaryono11@ymail.com,
hidayatul.nurohmah.mt@gmail.com

ABSTRAK

The stator coil gets three-phase current supply, than the coil will arise rotary field. Because there is a rotating field in the stator coil will cause the rotor to rotate. This happens because of the induction magnet rotor synchronous with the rotational speed and rotational speed of the stator. This can be overcome by intelligent control based Artificial Intelligent (AI). In this study, designed the model of the induction motor speed control using multiple controls, including auto tuning Matlab PID control, PID with Particle Optimizations Swarm (PSO) and combining methods Neural Adaptive Fuzzy Inference System (ANFIS) to the PSO on a Proportional Integral Derivative (PID) controller. The results of the performance of the model of induction motor speed control using the Hybrid ANFIS-PID-PSO obtained settling time and overshoot are better than the PID Auto tuning Matlab, PID-ZN (Ziegler Nichols), as well as PID-PSO. From the results of running the program Simulink obtained the smallest overshoot value obtained in Hybrid controller ANFIS-PID-PSO at 1.007 and fastest settling time also on ANFIS controller-PID-PSO with a time of 0.73 seconds. Thus the hybrid controller models ANFIS-PID-PSO is best used in this study and can be applied into real form.

Kata Kunci: *hybrid, Anfis, motor induksi, PSO*

1. Pendahuluan

Ada dua bagian utama motor induksi yaitu rotor dan stator. Ada dua buah jenis rotor yaitu rotor belit dan rotor sangkar. Stator dibuat dari sejumlah slots untuk membawa gulungan. Gulungan ini dilingkarkan untuk sejumlah kutub yang tertentu. Stator merupakan bagian yang diam dari motor induksi, pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) yang disebut kumparan stator, yang masing-masing kumparan mendapatkan suplai arus tiga fasa, maka pada kumparan tersebut segera timbul medan putar.

Artificial Intelligent (AI) sudah banyak berkembang untuk memperbaiki kontrol konvensional. Pada paper ini akan mendesain model kontrol motor induksi menggunakan kontrol PID untuk mengontrol kecepatan motor induksi yang kemudian akan digunakan untuk menguji kedua kontrol tersebut.

pada sebuah model motor induksi dengan perubahan kecepatan dan perubahan torsi beban. Hasil performance dari Model kontrol induksi Series menggunakan PID dengan perubahan kecepatan dan perubahan beban torsi beban didapatkan memiliki *steady state error*, *settling time* dan *overshoot* yang lebih baik

2. Kajian Pustaka

2.1. PID Controller

Kontrol PID adalah sistem kontrol gabungan antara kontrol proporsional, integral, dan turunan (*derivative*). Pada metode ini, penalaan dilakukan dalam kalang tertutup dimana masukan referensi yang digunakan adalah fungsi tangga (step). Pengendali pada metode ini hanya pengendali proporsional. K_p , dinaikkan dari 0 hingga nilai kritis K_p , sehingga diperoleh keluaran yang terus-menerus berosilasi dengan amplitudo yang sama. Nilai *ultimated period*, T_u , diperoleh setelah keluaran sistem mencapai kondisi yang terus menerus berosilasi.

2.2. Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization, disingkat sebagai PSO, didasarkan pada perilaku sebuah kawanan serangga, seperti semut, rayap, lebah atau burung. Algoritma PSO meniru perilaku sosial organisme ini. Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Kata partikel menunjukkan, misalnya, seekor burung dalam kawanan burung. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan cara menggunakan kecerdasannya (*intelligence*) sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya.

Dengan demikian, jika satu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat atau pendek menuju ke sumber makanan, sisa kelompok yang lain juga akan dapat segera mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka jauh di kelompok tersebut.

Sebagai contoh, misalnya perilaku burung-burung dalam dalam kawanan burung. Meskipun setiap burung mempunyai keterbatasan dalam hal kecerdasan, biasanya ia akan mengikuti kebiasaan (rule) seperti berikut :

1. Seekor burung tidak berada terlalu dekat dengan burung yang lain
2. Burung tersebut akan mengarahkan terbangnya ke arah rata-rata keseluruhan burung
3. Akan memposisikan diri dengan rata-rata posisi burung yang lain dengan menjaga sehingga jarak antar burung dalam kawanan itu tidak terlalu jauh

Dengan demikian perilaku kawanan burung akan didasarkan pada kombinasi dari 3 faktor simpel berikut:

1. Kohesi - terbang bersama
2. Separasi - jangan terlalu dekat
3. Penyesuaian(alignment) - mengikuti arah bersama

Jadi PSO dikembangkan dengan berdasarkan pada model berikut:

1. Ketika seekor burung mendekati target atau makanan secara cepat mengirim informasi kepada burung-burung yang lain dalam kawanan tertentu.
2. Burung yang lain akan mengikuti arah menuju ke makanan tetapi tidak secara langsung
3. Ada komponen yang tergantung pada pikiran setiap burung, yaitu memorinya tentang apa yang sudah dilewati pada waktu sebelumnya.

Model ini akan disimulasikan dalam ruang dengan dimensi tertentu dengan sejumlah iterasi sehingga di setiap iterasi, posisi partikel akan semakin mengarah ke target yang dituju (minimasi atau maksimasi fungsi). Ini dilakukan hingga maksimum iterasi dicapai atau bisa juga digunakan kriteria penghentian yang lain.

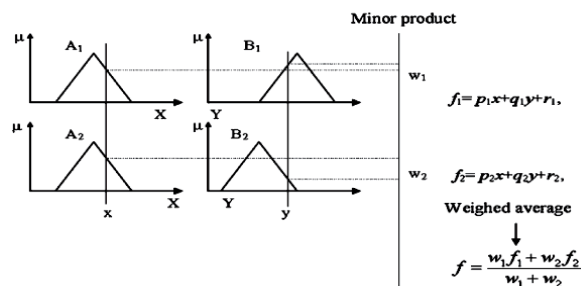
2.3. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

Sistem pada *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) merupakan gabungan mekanisme fuzzy inference system yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf dalam hal ini adalah *Artificial Neural Network* (ANN). Sistem inferensi fuzzy yang digunakan adalah sistem inferensi fuzzy model Tagaki-Sugeno-Kang (TSK) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi. Mekanisme inferensi fuzzy TSK orde satu dengan dua masukan x dan y (Gambar 3). Basis aturan dengan dua aturan fuzzy if-then seperti dibawah ini:

Rule 1 : if x is A1 and y is B1 then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

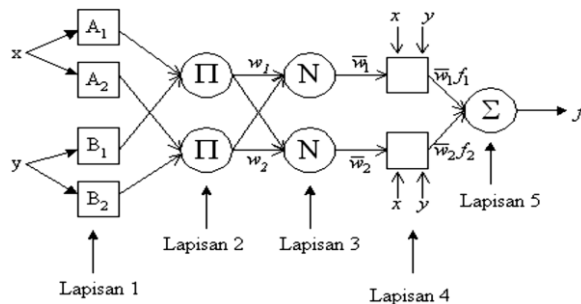
Rule 2 : if x is A2 and y is B2 then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

Input : x dan y. Consequent-nya adalah f



Gambar 3. Sistem inferensi fuzzy TSK

Sedangkan untuk Struktur Anfis bisa dilihat pada (Gambar 4)

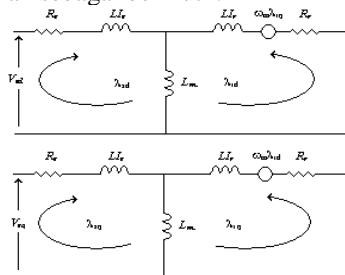


Gambar 4. Struktur Anfis

3. Pemodelan

3.1. Rangkaian Equivalen Motor Induksi

Pada bagian ini digunakan sebuah model tinjauan baku motor induksi. Model rangkaian ini merupakan model yang paling umum digunakan dalam berbagai penganalisaan terhadap motor induksi. Sebuah model 'rekaan' yang mendeskripsikan motor induksi sebagai sistem yang terdiri dari vektor-vektor yang didefinisikan dengan dua koordinat *orthogonal* dan *polar*. Komponen vektor ruang diasosiasikan dengan pasangan variabel, yaitu bagian *direct* dan *quadrature* (d-q). Model rangkaian equivalen digambarkan sebagai berikut :



Gambar 5. Model Rangkaian Equivalen Motor Induksi

Model matematika motor induksi diperoleh melalui proses analisa dinamik dari motor induksi. Persamaan tegangan acuan:

$$V_{sd}(t) = R_s \cdot i_{sd}(t) - n_p \omega_m(t) \cdot \lambda_{sq} + \frac{d}{dt} \lambda_{sd} \quad (1)$$

$$V_{sq}(t) = R_s \cdot i_{sq}(t) + n_p \omega_m(t) \cdot \lambda_{sd} + \frac{d}{dt} \lambda_{sq} \quad (2)$$

$$V_{rd}(t) = 0 = R_r \cdot i_{rd}(t) - n_p \omega_m(t) \cdot \lambda_{rq} + \frac{d}{dt} \lambda_{rd} \quad (3)$$

$$V_{rq}(t) = 0 = R_r \cdot i_{rq}(t) + n_p \omega_m(t) \cdot \lambda_{rd} + \frac{d}{dt} \lambda_{rq} \quad (4)$$

$$V_{rd}(t), V_{rq}(t) = 0$$

jika menggunakan jenis motor squerrel caqe (sangkar tupai). Persamaan medan putarnya adalah:

$$\lambda_{sd} = L_s \cdot i_{sd}(t) + L_m \cdot i_{rd}(t) \quad (5)$$

$$\lambda_{sq} = L_s \cdot i_{sq}(t) + L_m \cdot i_{rq}(t) \quad (6)$$

$$\lambda_{rd} = L_s \cdot i_{rd}(t) + L_m \cdot i_{sd}(t) \quad (7)$$

$$\lambda_{rq} = L_s \cdot i_{rq}(t) + L_m \cdot i_{sq}(t) \quad (8)$$

Torsi elektromagnetiknya adalah :

$$T_{em} = n_p \frac{L_m}{L_r} (\lambda_{rd} \cdot i_{sq}(t) - \lambda_{rq} \cdot i_{sd}(t)) \quad (9)$$

Sementara persamaan elektrodinamikya adalah :

$$J_{eq} \frac{d}{dt} \omega_m(t) = T_{em}(t) - T_b(t) - T_L(t) \quad (10)$$

$$T_b(t) = B_m \cdot \omega_m(t) \quad (11)$$

$$\frac{d}{dt} \theta_m(t) = \omega_m(t) \quad (12)$$

Untuk mendapatkan fungsi alih, maka salah satu dari tegangan acuan masukan dan $T_L(t)$ harus sama dengan nol.

Dari persamaan (10) di atas :

$$(J_{eq}s + B_m) \cdot \omega_m(s) = T_{em}(s) - T_L(s)$$

$$\omega_m(s) = \frac{T_{em}(s)}{(J_{eq}s + B_m)} = \frac{n_p \cdot L_m (\lambda_{rd} \cdot i_{sq}(s) - \lambda_{rq} \cdot i_{sd}(s))}{L_r \cdot (J_{eq}s + B_m)} \quad (13)$$

Jenis motor induksi yang akan digunakan pada pendesainan ini adalah motor jenis squerrel caqe (sangkar tupai). Agar dapat didesain maka harus diketahui terlebih dahulu nilai dari parameter-parameter yang dimiliki oleh motor induksi tersebut. Dengan spesifikasi fisis seperti pada tabel 1 berikut:

Tabel 1 Spesifikasi Fisis Motor Induksi Squerrel Caqe

n	Tegangan sumber terukur	230	Volt.
P	Jumlah pole	2	-
f_s	Frekuensi stator	60	Hz
J_{eq}	Momen inersia stator	0.3	$Kg \cdot m^2$
R_s	Tahanan stator	0.08	Ohm
R_r	Tahanan rotor	0.04	Ohm
L_s	Induktansi stator	15.4	mH
L_r	Induktansi rotor	16.38	mH
L_m	Induktansi magnetik	14.60	mH
S	Slip	0.02	-
B_m	Koefisien gesekan	-	$Nm/rad/sec$

Nilai-nilai dari parameter ini kemudian akan disubstitusikan ke dalam bentuk sebuah fungsi alih sebagai berikut:

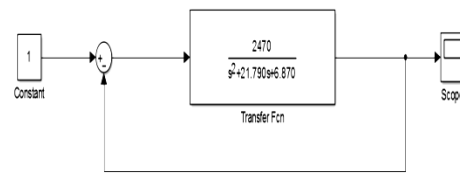
$$\frac{\omega_m(s)}{V_{sd}(s)} = \frac{1.78}{0.72 \times 10^{-3} s^2 + 0.0157 s + 3.168}$$

$$\frac{\omega_m(s)}{V_{sd}(s)} = \frac{2470}{s^2 + 21.79 s + 4400} \quad (14)$$

4. Hasil Penelitian

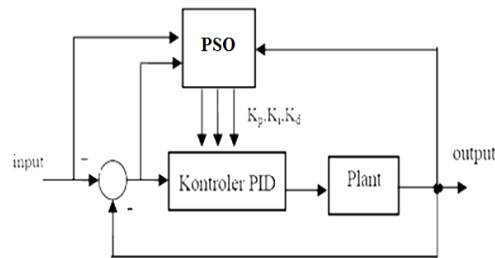
4.1. Model Pengaturan Kecepatan Motor Induksi

Dari transfer function rangkaian motor Induksi dapat dimodelkan ke dalam bentuk diagram seperti pada gambar 6.



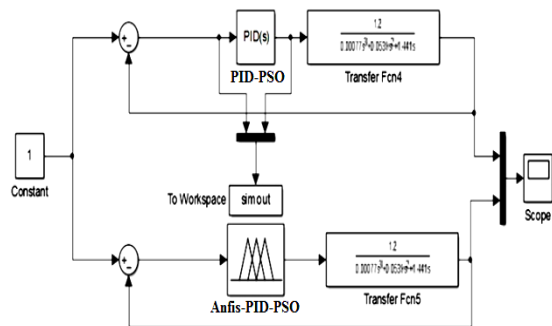
Gambar 6. Diagram rangkaian motor Induksi

Kontroler PID-PSO untuk plant ditunjukkan pada gambar 7.



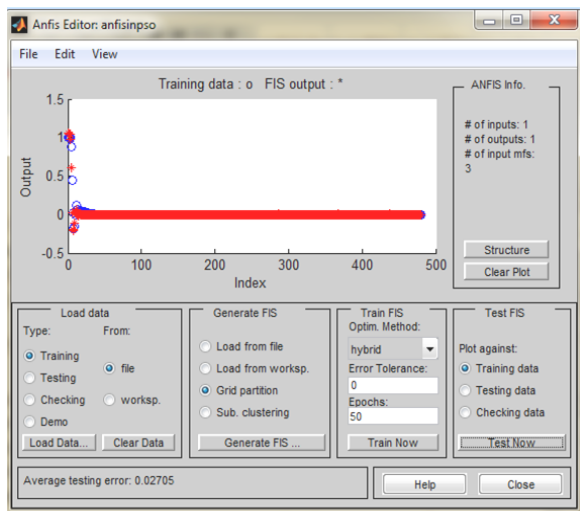
Gambar 7. Struktur kontroler PID-PSO

Training data Anfis dari hasil tuning PID-PSO dapat dilihat pada gambar 8.

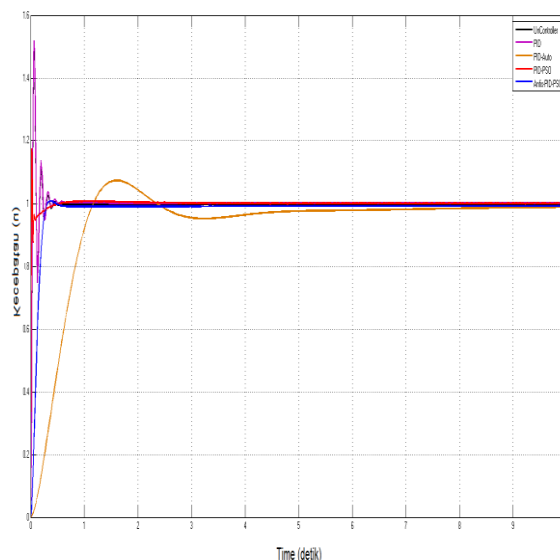


Gambar 8. Struktur Anfis-PID-PSO

Data Pelatihan Anfis tiruan PID dan PID-PSO diperoleh dengan cara memasukkan data hasil running PID-PSO kedalam Anfis editor seperti pada gambar 9:



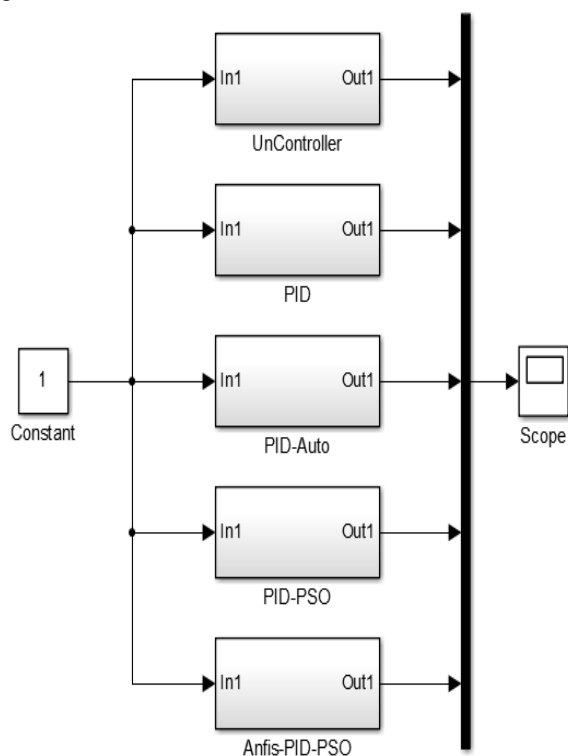
Gambar 9. Pengambilan data ANFIS tiruan PID dan PID-PSO



Gambar 10. Hasil respon beberapa macam kontrol

4.2. Simulasi

Bentuk blok diagram perancangan model pengaturan kecepatan motor Induksi dapat dilihat pada gambar 10. dibawah ini:



Gambar 10. Blok diagram perancangan model

Hasil simulasi dari *simulink* didapatkan bentuk *output* seperti pada gambar 10.

Haril hasil grafik di atas dapat diartikan bahwa dari running program:

6. Tanpa kontroller didapatkan *overshoots* = 1,49 pada saat $t = 0,065$, *overshoot* = 1,117 pada saat $t = 0,19$, *overshoot* = 1,025 pada saat $t = 0,31$ dengan *settling time* 9,28 detik.
7. PID standart didapatkan *overshoots* = 1,518 pada saat $t = 0,065$, *overshoot* = 1,121 pada saat $t = 0,19$, dengan *settling time* 5,8 detik.
8. PID *Autotuning* didapatkan *overshoots* = 1,073 pada saat $t = 1,61$ dengan *settling time* 8,83 detik.
9. PID-PSO didapatkan *overshoots* = 1,175 pada saat $t = 0,02$ dengan *settling time* 3,97 detik
10. Anfis-PID-PSO didapatkan *overshoots* = 1,007 pada saat $t = 0,035$ dengan *settling time* 0,73 detik

Dari hasil running program didapatkan nilai konstanta K_p , K_i , K_d seperti pada table 2:

Tabel 2. Nilai Hasil Simulasi

	Tanpa kontrol	PID	PID-Auto	PID-PSO	Anfis-PID-PSO
K_p	-	1	0.0202	0.4035	-
K_i	-	1	0.0037	0.3536	-
K_d	-	0	-0.0079	0.0869	-
<i>Overshoot</i>	1,49	1,518	1,073	1,175	1,007
<i>Settling time</i>	9,28	5,8	8,83	3,97	0,73

Dari hasil tabel diatas didapatkan bahwa model kontroller terbaik pada penelitian ini adalah *Hybrid* Anfis-PID-PSO dengan *overshoot* terkecil yaitu 1,007 dengan *settling time* tercepat yaitu 0,73 detik.

5. Kesimpulan

Hasil PID tanpa kontroller didapat overshoots = 1,49 pada saat $t = 0,065$, overshoot = 1,117 pada saat $t = 0,19$, overshoot = 1,025 pada saat $t = 0,31$ dengan settling time 9,28 detik. PID standart didapatkan overshoots = 1,518 pada saat $t = 0,065$, overshoot = 1,121 pada saat $t = 0,19$, dengan settling time 5,8 detik. PID Autotuning didapatkan overshoots = 1,073 pada saat $t = 1,61$ dengan settling time 8,83 detik. PID-PSO didapatkan overshoots = 1,175 pada saat $t = 0,02$ dengan settling time 3,97 detik. Hybrid Anfis-PID-PSO didapatkan overshoots = 1,007 pada saat $t = 0,035$ dengan settling time 0,73 detik

Dari hasil running program *simulink* didapatkan nilai *overshoot* terkecil didapatkan pada kontroler *Hybrid* Anfis-PID-PSO sebesar 1,007 dan *settling time* tercepat juga pada kontroler Anfis-PID-PSO dengan waktu 0,73 detik. Dengan demikian model controller hybrid Anfis-PID-PSO paling baik digunakan dalam penelitian ini dan bisa diterapkan kedalam bentuk sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Dwi Hartanto, Thomas Wahyu, *Analisis Dan Desain System Kontrol Dengan MATLAB*, Andy.Yogyakarta. 2001.
- Husein Ahmad , Gagan Signh, *Controlling of D.C. Motor using Fuzzy Logic Controller*“, Conference on Advances in Communication and Control Systems 2013 (CAC2S 2013)
- Karaman S, Ozturk I, Yalcin H, Kayacier A, Sagdic O: *Comparison of Adaptive Neuro Fuzzy Inference System and artificial neural networks for estimation of oxidation parameters of sunflower oil added with some natural byproduct extracts*, J. Sci. Food Agric. 92 (2012) 49 – 58
- Karmila Esmeralda S, FerdysilThim, Simulasi Komputer Perilaku Motor Induksi Tiga Fasa Selama Gangguan pada Sistem Tenaganya, Jurusan Teknik Elektro UNHAS, 1996.
- Soebagio, Model- Mesin Induksi Dalam Koordinat DQN, SMED 2000 UGM Yogyakarta
- Walaa M Stroy, *Speed Control of DC Motor Using PID Controller Base On Artificial Intelligence Technique*, CoDIT'13 IEEE, 2013