



Algoritma Persaingan Imperialis Sebagai Optimasi Kontroler PID dan ANFIS Pada Mesin Sinkron Magnet Permanen (*Imperialist Competitive Algorithm As PID Optimization and ANFIS Controller at Permanent Magnet Synchronous Machine*)

Machrus Ali¹⁾, Budiman Budiman²⁾, Agus Raikhani³⁾, Hendi Sopian⁴⁾

^{1,3)} Departemen Teknik Elektro, Universitas Darul ulum Jombang, Indonesia

^{2,4)} Departemen Teknik Informatika, Universitas Darul ulum Jombang, Indonesia

¹⁾ machrus7@gmail.com

²⁾ budimanjombang1@gmail.com

³⁾ agus.raikhani@gmail.com

⁴⁾ hendi.sopian@gmail.com

Abstract- Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM) has low torque, so good control is needed to be stable quickly. PMSM uses the principle of Faraday experiments which is rotating a magnet in a coil or vice versa. When a magnet moves in a coil, there is a change in magnetic flux in the coil and penetrates perpendicular to the coil so that there is a potential difference between the ends of the coil, regarding this due to changes in magnetic flux. Magnetic flux can be changed by moving a magnet in a coil or vice versa by utilizing other energy sources. To get a good optimization result, the right control constants are needed. So that the best output is obtained. To get the right constants, a suitable and good method is needed, including using artificial intelligence. In this study using the Imperialist Competitive Algorithm (ICA) method. From the simulation results it was found that the best controller design in this study was ANFIS-ICA with the best profile, torque profile, voltage profile, and rotation profile. The largest current is 2.45 A, the smallest overshoot torque is 0.48 pu, the largest voltage frequency is 9.84 kHz, and the best rotation (close to the reference) is 700.02 rpm. The results of this study will be continued with the use of other artificial intelligence.

Keywords: Artificial Intelligence; ANFIS; Imperialist Competitive Algorithm; PID Controller; Permanent Magnet Synchronous Machine.

Abstrak- Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM) mempunyai torsi yang rendah, sehingga diperlukan kontrol yang baik agar cepat setabil. PMSM menggunakan prinsip percobaan Faraday yaitu memutar magnet dalam suatu kumparan atau sebaliknya. Ketika magnet bergerak dalam suatu kumparan, terjadi perubahan fluks gaya magnet dalam

kumparan dan menembus tegak lurus terhadap kumparan sehingga timbul beda potensial antara ujung kumparan, perih ini karena adanya perubahan fluks magnetik. Fluks magnetik dapat diubah dengan menggerakkan magnet dalam kumparan atau sebaliknya dengan memanfaatkan sumber energi lain. Untuk mendapatkan hasil optimasi yang baik diperlukan ketepatan konstanta kontrol yang tepat. Sehingga didapatkan hasil output yang paling baik. Untuk mendapatkan konstanta yang tepat diperlukan metode yang cocok dan baik, diantaranya menggunakan kecerdasan buatan. Dalam penelitian ini menggunakan metode Imperialist Competitive Algorithm (ICA). Dari hasil simulasi didapatkan bahwa desain kontroler terbaik dalam penelitian ini adalah ANFIS-ICA dengan profile arus, profile torsi, profile tegangan, dan profile putaran terbaik. Didapatkan arus terbesar sebesar 2.45 A, overshoot torsi terkecil sebesar 0.48 pu, frekuensi tegangan terbesar sebesar 9.84 kHz, dan putaran terbaik (mendekati referensi) sebesar 700.02 rpm. Hasil penelitian ini akan dilanjutkan dengan penggunaan kecerdasan buatan lainnya.

Kata Kunci: Kecerdasan buatan; ANFIS; Algoritma Persaingan Imperialis; Kontroler PID; Mesin Sinkron Magnet Permanen.

LATAR BELAKANG

Synchronous reluctance Machines memanfaatkan desain rotor keengganan tetapi menggunakan belitan ac 3 fase standar. Sangkar induksi pada rotor memberikan torsi start, tetapi begitu mesin mendekati kecepatan sinkron, torsi keengganan akan menyinkronkan mesin dengan suplai. Mesin listrik yang secara dapat dioperasikan baik sebagai generator ataupun sebagai motor. Generator adalah salah satu mesin listrik yang

bekerja berdasarkan energi gerak / mekanik yang kemudian mengubahnya menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Fluks magnet dapat diubah dengan menggerakkan magnet di koil atau sebaliknya dengan memanfaatkan sumber energi lain, seperti angin dan air untuk memutar bilah turbin sehingga mereka menggerakkan magnet. Jika sebuah konduktor bergerak untuk memotong medan magnet akan ada perbedaan tegangan pada ujung konduktor [1–3].

TEORI DASAR

Meskipun Synchronous reluctance Machines memiliki torsi rendah, mereka dapat digunakan dalam sejumlah aplikasi spesifik [4], di mana kontrol kecepatan yang tepat diperlukan untuk memutar serat dengan ketebalan konstan. PMSM biasanya mesin tiga fase, meskipun banyak desain baru memiliki nomor fase lainnya [5–7]. Operasi pada dasarnya mirip dengan mesin sinkron medan-luka besar dengan satu pengecualian penting, PMSM biasanya dioperasikan dari elektronik tenaga variabel kecepatan dan tidak beroperasi pada kecepatan tetap tunggal. Artificial Intelligence (AI) atau kecerdasan buatan sering digunakan untuk permasalahan yang dihadapi dalam optimasi kontrol motor [8], optimasi turbin angin [9, 10], optimasi wind diesel [11, 12], optimasi mikrohidro [13, 14], optimasi photo voltaic, optimasi steer kendaraan dan optimasi lainnya. Salah satu kecerdasan buatan yang sering digunakan dan terbukti sangat baik hasilnya adalah Imperialist Competitive Algorithm (ICA) [9, 10, 15]. ICA adalah algoritma evolusioner yang terinspirasi dengan kompetisi kekuasaan (imperialist competitive). Algoritma optimasi ICA dikenalkan oleh Esmail Atashpaz [16].

PID Controller

Proportional Integral Derivative Controller adalah controller suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen PID terdiri dari 3 jenis konstanta, yaitu Proportional, Integratif, dan Derivatif. Ketiga konstanta dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri, tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant. Gambar 1

[Figure 1 about here.]

PID adalah kontrol yang menggunakan komponen proportional, integratif, dan derivatif. 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. Nilai kritis K_p ini disebut sebagai *ultimated gain*. Nilai *ultimated period*, T_u , diperoleh setelah keluaran sistem mencapai kondisi yang terus menerus berosilasi [1, 12].

Imperialist Competitive Algorithm (ICA): ICA adalah algoritma evolusioner yang terinspirasi dengan kompetisi kekuasaan (imperialist competitive). Algoritma optimasi ICA dikenalkan oleh Esmail Atashpaz. ICA mensimulasikan proses sosial politik dari imperialisme dan kompetisi kekuasaan. Langkah-langkah utama pada ICA dapat dirangkum dalam pseudo-code, seperti pada flowchart Gambar 2

[Figure 2 about here.]

Penggunaan ICA dalam penalaan PID: Fungsi objektif yang digunakan untuk menguji kestabilan sistem adalah dengan *Integral Time Absolut Error (ITAE)*. Gambar 3

[Figure 3 about here.]

Parameter PID yang ditala oleh ICA adalah K_d , K_p , K_i . Adapun untuk diagram alur proses penalaan parameter PID dengan menggunakan metode *firefly algorithm* ditunjukkan oleh *flowchart* pada Gambar 1. Dengan melihat diagram alur, akan lebih memudahkan kita untuk mengetahui runtutan-runtutan proses yang perlu dilakukan untuk menyusun suatu sistem..

Pseudo code of Imperialist Competitive Algorithm (ICA) dapat dilihat pada Gambar 4

[Figure 4 about here.]

Parameter metode ICA dapat dilihat pada Tabel 1.

[Table 1 about here.]

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) adalah penggabungan mekanisme Fuzzy Inference System (FIS) yang dijelaskan dalam arsitektur Neural Network (NN). Dalam simulasi, arsitektur ANFIS digunakan untuk memodelkan fungsi-fungsi nonlinier, mengidentifikasi komponen-komponen nonlinear secara online dalam sistem kontrol. Metodologi baru berdasarkan ANFIS untuk memperkirakan sudut pandang kendaraan. Ukuran tersebut telah divalidasi dengan membandingkan model CARSIM yang diusulkan, yang merupakan perangkat lunak yang divalidasi secara eksperimental [17]. FIS yang digunakan adalah model fuzzy tingkat pertama dari model Tagaki-Sugeno-Kang (TSK) dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi. Urutan pertama mekanisme inferensi fuzzy TSK dengan dua input x dan y Gambar 5. *Rule base* dengan dua aturan fuzzy if-then, seperti di bawah ini:

- Rule 1 : if x is A_1 and y is B_1 then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$
 - Rule 2 : if x is A_2 and y is B_2 then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$
- Input: x dan y . konsekuen jika f .

[Figure 5 about here.]

Struktur ANFIS dapat dilihat pada Gambar 6 .

[Figure 6 about here.]

Hasil training data ANFIS yang diambil dari data PID-ICA dapat dilihat pada Gambar 7 .

[Figure 7 about here.]

- Permanent Magnet Synchronous Machine Gambar 8

[Figure 8 about here.]

- Parameter Mesin

Mesin tiga fase dengan nilai 1,1 kW, 220 V, 3000 rpm diumpangkan oleh inverter PWM. Inverter PWM dibangun seluruhnya dengan blok Simulink® standar. Keluarannya melewati blok Sumber Tegangan Terkendali sebelum diterapkan pada belitan stator blok PMSM. Torsi beban yang diterapkan pada poros mesin pada awalnya diatur ke nilai nominalnya (3 Nm) dan turun menjadi 1 Nm pada $t = 0,04$ dtk. Dua loop kontrol digunakan. Loop dalam mengatur arus stator motor. Lingkaran luar mengontrol kecepatan motor.

- Simulasi

Aarus stator cukup "berippel" yang diharapkan ketika menggunakan inverter PWM. Juga, amplitudo arus ini berkurang pada $t = 0,04$ s, ketika beban berkurang. Rippel yang diperkenalkan oleh inverter PWM juga diamati dalam bentuk gelombang elektromagnetik torsi Te. Namun, inersia motor mencegah kebisingan ini muncul dalam bentuk gelombang kecepatan motor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain PMSM akan dibandingkan antara desain tanpa control, dengan control PID standard, dan dengan PID yang detuning menggunakan Imperialist Competitive Algorithm. Imperialist Competitive Algorithm. Didapatkan Nilai $Kp_{ica} = 47.7012$ $Ki_{ica} = 23.0579$ dan $Kd_{ica} = 0.00126$ Desain tersebut dapat dilihat pada Gambar 9 .

[Figure 9 about here.]

Profile arus output (i_s) dalam ampere, dapat dilihat pada Gambar 10 , Gambar 11 , dan Gambar 12 .

[Figure 10 about here.]

[Figure 11 about here.]

[Figure 12 about here.]

Dari gambar 9.(a), 9.(b), dan 9(c) menunjukkan bahwa profile arus outpun terbaik pada ANFIS-ICA controller. Pada saat transien dihasilkan overshoot pada Tanpa Kontrol = 56.79 A, pada PID = 56.78 A, pada PID-ICA = 56.76 A, dan ANFIS-ICA = 6.06 A. Pada steady state tanpa control = 0.98 A, pada PID = 0.99 A, pada PID-ICA = 1.39 A, dan pada ANFIS-ICA = 2.45 A.

Profile Torsi yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14

[Figure 13 about here.]

[Figure 14 about here.]

10(a) Profile Torsi PMSM saat transien dan 10(b) profile torsi PMSM saat steady state.

Dari gambar 10.(a) dan 10.(b) menunjukkan bahwa profile torsi terbaik (overshoot terkecil) pada ANFIS-ICA controller. Pada saat transien dihasilkan overshoot pada Tanpa Kontrol = 59.19 pu, pada PID = 59.19 pu, pada PID-ICA = 59.19 pu, dan ANFIS-ICA = 0.48 pu.

Profile Tegangan yang didapatkan dapat dilihat pada gambar 11(a) dan 11(b). Gambar 16

[Figure 15 about here.]

[Figure 16 about here.]

Profile tegangan PMSM Gambar 15 and 16

Dari gambar 11.(a) dan 11.(b) menunjukkan bahwa profile tegangan terbaik (paling kontinyu) pada ANFIS-ICA controller. Pada saat transien dihasilkan frekuensi tegangan pada Tanpa Kontrol = 6.666 hz, pada PID = 8.33 khz, pada PID-ICA = 9.75 khz, dan ANFIS-ICA = 9.84 khz.

Gambar putaran mesin ω (rad) bisa dilihat pada gambar 12.a dan 12.b .

[Figure 17 about here.]

[Figure 18 about here.]

Dari Gambar 17 .(a) dan Gambar 18 .(b) menunjukkan bahwa model yang paling mendekati Speed reff (700 rpm) adalah ANFIS-ICA dengan undershot sebesar 700.015 rpm pada saat $t = 0.0055$ detik dan steady state pada 700.02 rpm pada 0.004 detik. Tanpa control terjadi undershot sebesar 697 rpm pada saat $t=0.0055$ detik dan steady state pada 699 rpm pada 0.004 detik. PID control terjadi undershot sebesar 698.3 rpm pada saat $t=0.0055$ detik dan steady state pada 700.3 rpm pada saat 0.04 detik. PID-ICA terjadi undershot sebesar 0.002 pu pada saat $t=0.0055$ detik dan steady state pada 700.3 rpm pada saat 0.004 detik.

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi didapatkan bahwa desain kontroler terbaik dalam penelitian ini adalah ANFIS-ICA dengan profile arus yang paling baik dan profile arus, torsi, tegangan, dan putaran terbaik. Didapatkan arus terbesar sebesar 2.45 A, overshoot torsi sebesar 0.48 pu, frekuensi tegangan terbesar sebesar 9.84 khz, dan putaran terbaik (medekati referensi) sebesar 700.02 rpm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. N. Masrukhan, M. P. Mulyo, D. Ajiatmo, & M. Ali, *Optimasi Kecepatan Motor DC Menggunakan Pid Dengan Tuning Ant Colony Optimization (ACO) Controller*, Malang, 2016.
- [2] M. A. M. Muhlasin, "Auto-Tuning Method for Designing Matlab DC Motor Speed Control With PID (Proportional Integral Derivative),," *ADRI Int. J. Sci. Eng. Technol*, vol. 1, no. 2, pp. 5–8, 2017.
- [3] M. Ali, I. Umami, & H. Sopian, "Particle Swarm Optimization (PSO) Sebagai Tuning PID Kontroler Untuk Kecepatan Motor DC,," *Intake J. Penelit. Ilmu Tek. Dan Terap*, vol. 7, no. 1, pp. 10–20, 2016.
- [4] X. L.-S. F. Morel & C. Valentin, "Permanent magnet synchronous machine hybrid torque control,," *IEEE Trans. Ind. Electron*, vol. 55, no. 2, pp. 501–511, 2008.
- [5] P. L. Chapman, *Permanent-Magnet Synchronous Machine Drives*,. Simulation, 2002.
- [6] M. A. Budiman & M. R. Djalal, *Kontrol Motor Sinkron Permanen Magnet Menggunakan Algoritma Firefly*, 2017.
- [7] M. Ali, "Kontrol Kecepatan Motor DC Menggunakan PID Kontroler Yang Dituning Dengan Firefly Algorithm,," *Intake J. Penelit. Ilmu Tek. Dan Terap*, vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2012.
- [8] G. Y. Hartlambang, M. Ali, & A. Raikhani, "Unjuk Kerja Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence) Dalam Mengoptimalkan Kecepatan Motor Dc Dengan Menggunakan Metode Imperialist Competitive Algorithm (ICA),," *Intake J. Penelit. Ilmu Tek. Dan Terap*, vol. 6, no. 1, pp. 51–67, 2015.
- [9] M. F. Rachman, S. Muttaqin, & M. Ali, *Penggunaan Metode Imperialist Competitive Algorithm (ICA) untuk kontrol Frekuensi pada Wind-Turbine dan Hybrid Wind-Diesel*, UB, Malang, 2017.
- [10] M. Ali, Soedibyo, & I.Robandi, *Desain Pitch Angle Controller Turbin Angin Dengan Permanent Magnetic Synchronous Generator (PMSG) Menggunakan Imperialist Competitive Algorithm (ICA)*, Malang, 2015.
- [11] M. R. Djalal, M. Ali, H. Nurohmah, & D. Ajiatmo, "Aplikasi Algoritma Differential Evolution untuk Desain Optimal Load Frequency Control pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Angin dan Diesel,," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput*, vol. 5, no. 5, p. 511, 2018.
- [12] M. Arrohman, R. Fajardika, Muhlasin, & M.Ali, *Optimasi Frekuensi Kontrol pada Sistem Hybrid Wind-Diesel Menggunakan PID Kontroler Berbasis ACO dan MFA*, UB, Malang, 2017.
- [13] M. A. Kadaryono, Muhlasin, & Budiman, "Desain Pengaturan Governor Menggunakan Proportional Integral Derivative (PID) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Berbasis Particle Swarm Optimization (PSO),," *Intake J. Penelit. Ilmu Tek. Dan Terap*, vol. 7, no. 1, pp. 40–54, 2016.
- [14] A. Raikhani, M. Ali, D. Ajiatmo, & Budiman, "Desain Optimal Automatic Voltage Regulator Pada Pembangkit Listrik Mikro Hidro Menggunakan Fuzzy Logic Controller,," *Intake J. Penelit. Ilmu Tek. Dan Terap*, vol. 7, no. 1, pp. 30–39, 2016.
- [15] M. Ali, F. Hunaini, I. Robandi, & N. Sutantra, *Optimization of active steering control on vehicle with steer by wire system using Imperialist Competitive Algorithm (ICA)*,. Technology, 2015.
- [16] "Imperialist competitive algorithm,," *Intell. Syst. Ref. Libr*, vol. 62, pp. 203–209, 2014.
- [17] J. S. R. Jang, "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System,," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern*, vol. 23, no. 3, pp. 665–685, 1993.

Conflict of Interest Statement: The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2019 Author [s]. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Received: 26-03-2019
Accepted: 14-05-2019
Published: 03-04-2019

LIST OF TABLES

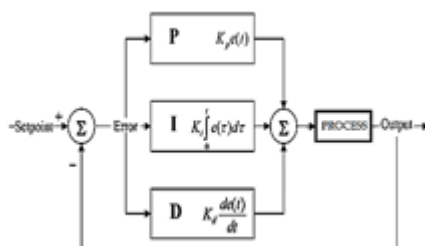
I ICA Parameters 62

TABEL I.. ICA PARAMETERS

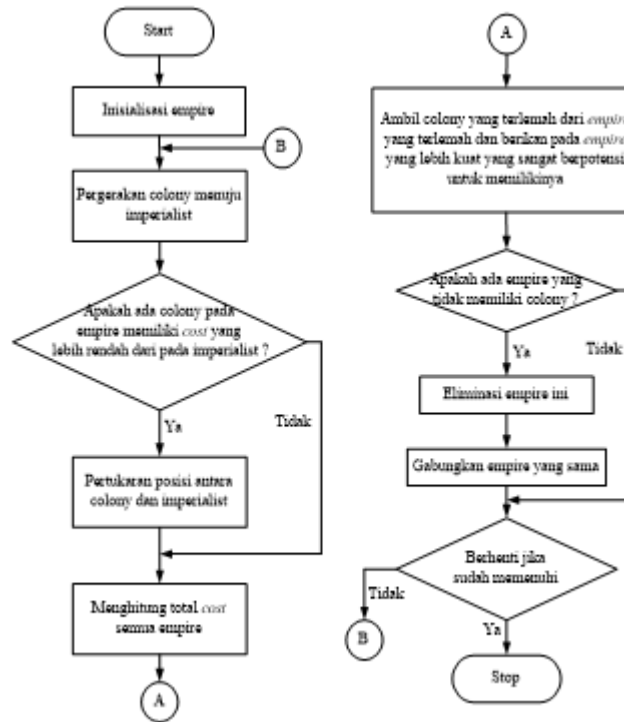
| Parameter | Value |
|---------------------------------------|---------|
| Number of Countries | 50 |
| Number of Imperialists | 6 |
| Number of Colonies | 50-6=44 |
| Revolution rate | 0,3 |
| Assimilation Coefficient (β) | 2 |
| Assimilation coefficient (γ) | 0,5 |
| Zeta ζ | 0.01 |
| Kp | 0 – 50 |
| Ki | 0 – 10 |
| Kd | 0 – 10 |

LIST OF FIGURES

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Kontrol PID | 64 |
| 2 | Flowchart Algoritma ICA | 65 |
| 3 | Integral Time Absolut Error (ITAE). | 66 |
| 4 | Pseudo code dari ICA | 67 |
| 5 | Fuzzy inference system | 68 |
| 6 | Struktur ANFIS | 69 |
| 7 | Hasil training test data ANFIS | 70 |
| 8 | Simulink MSM [5] | 71 |
| 9 | Desain control PMSM berbagai model | 72 |
| 10 | 9 (a) Arus output 3 phasa, | 73 |
| 11 | 9 (b) Arus saat transien | 74 |
| 12 | 9 (c) arus saat steady state | 75 |
| 13 | 10(a).Profile Torsi PMSM saat transien | 76 |
| 14 | 10 (b) profile torsi PMSM saat steady state. | 77 |
| 15 | 11(a) saat transien | 78 |
| 16 | 11(b) saat steady state | 79 |
| 17 | Gambar putaran mesin dalam radian (rad) | 80 |
| 18 | jika diperbesar (zoom) | 81 |



Gambar 1. Kontrol PID



Gambar 2. Flowchart Algoritma ICA

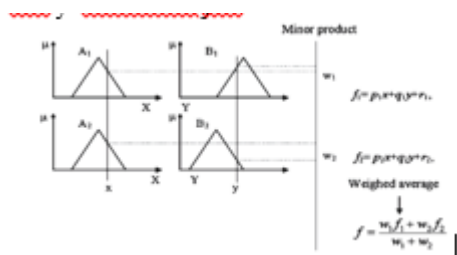
$$ITAE = \int_0^{\infty} t |\Delta\omega(t)| dt$$

Gambar 3. Integral Time Absolut Error (ITAE).

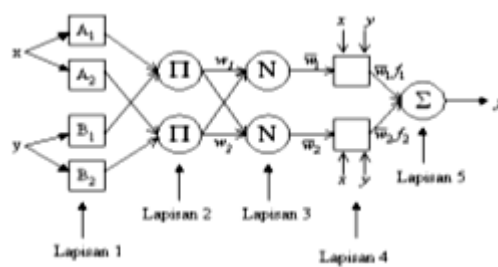
Processor P_i :

1. Create independent initial countries.
2. Run ICA algorithm independently.
3. If now is time of migration do
 - 3.1 Wait when all processors arrive to this point.
 - 3.2 Send the best country to processor $(P_{i+1}) \bmod$ (number of processors).
 - 3.3 Receive a country from $(P_{i-1}) \bmod$ (number of processors) and replace it with the worst country.
4. If termination condition is obtained then terminate algorithm Else go to 2.
5. Show the best country.
6. End.

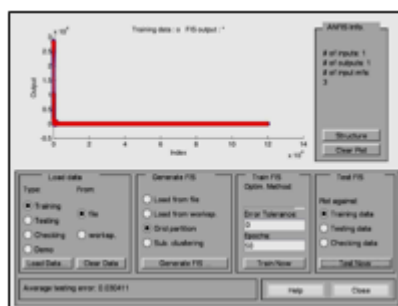
Gambar 4. Pseudo code dari ICA



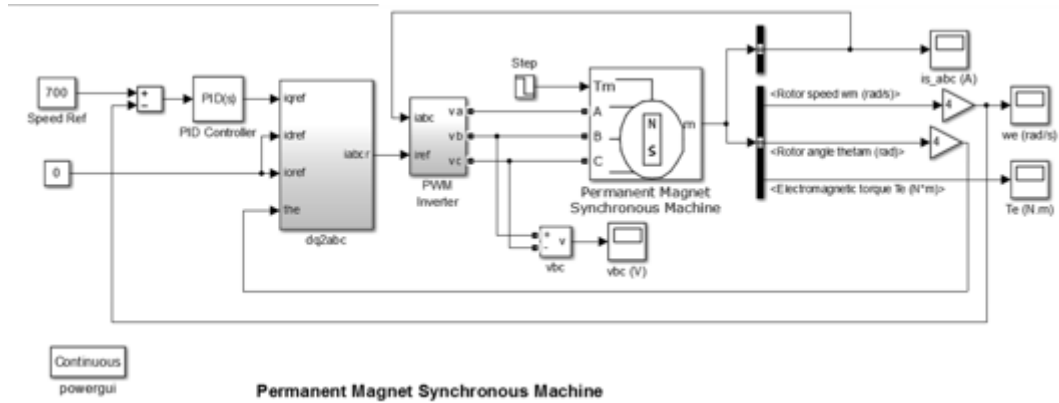
Gambar 5. Fuzzy inference system



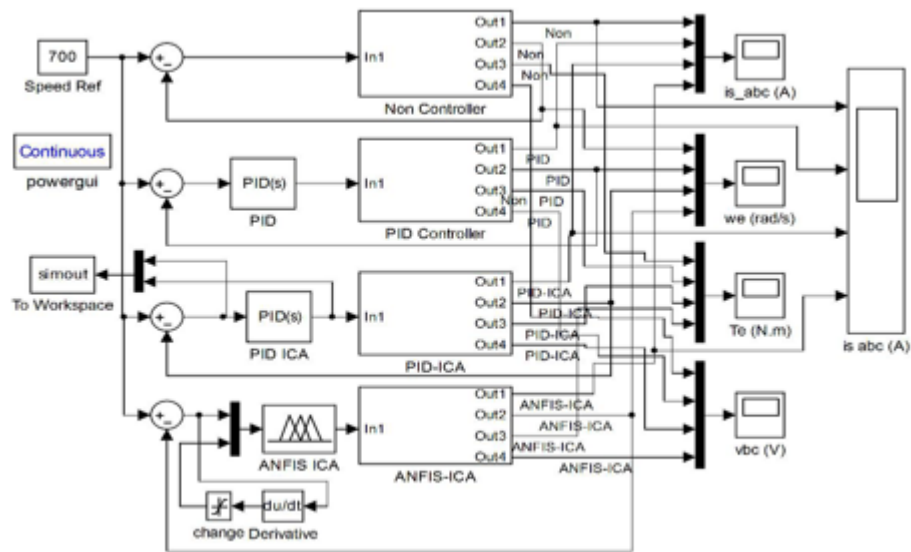
Gambar 6. Struktur ANFIS



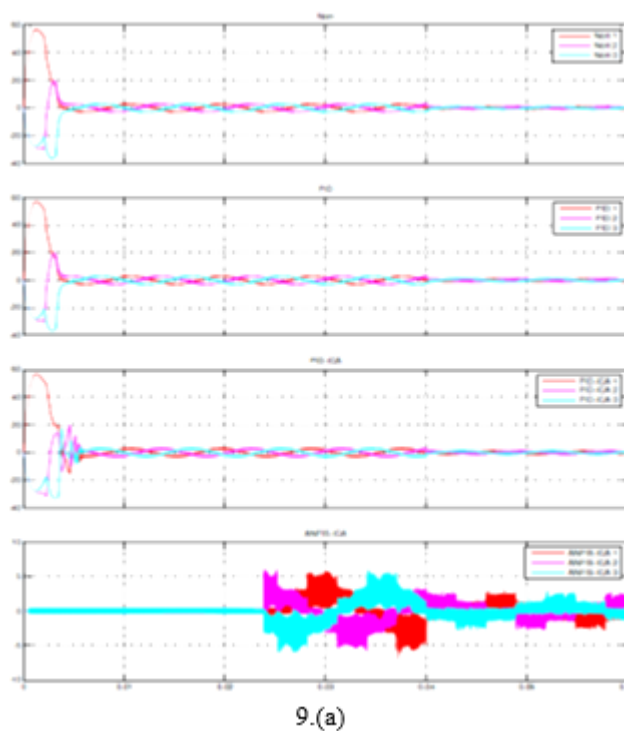
Gambar 7. Hasil training test data ANFIS



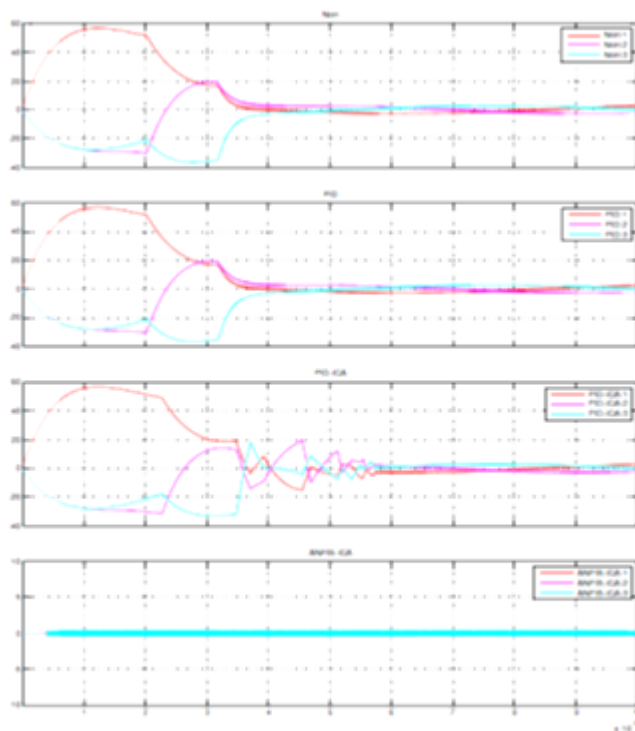
Gambar 8. Simulink MSM [5]



Gambar 9. Desain control PMSM berbagai model

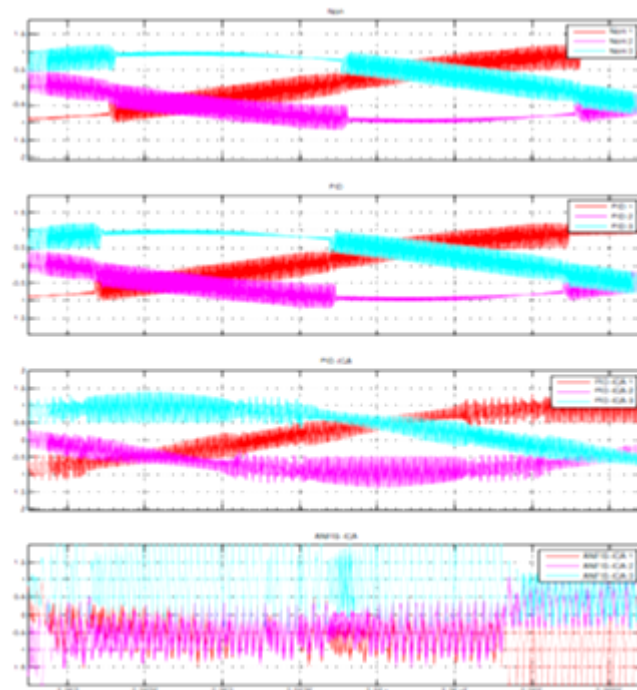


Gambar 10. 9 (a) Arus output 3 phasa.



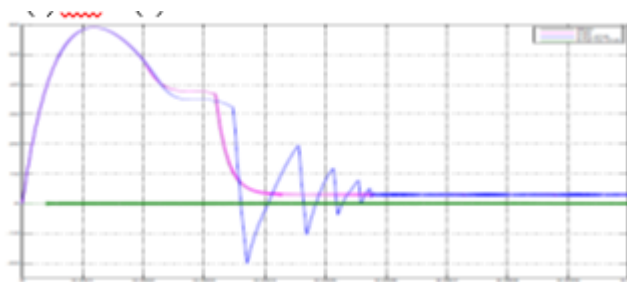
9.(b)

Gambar 11. 9 (b) Arus saat transien

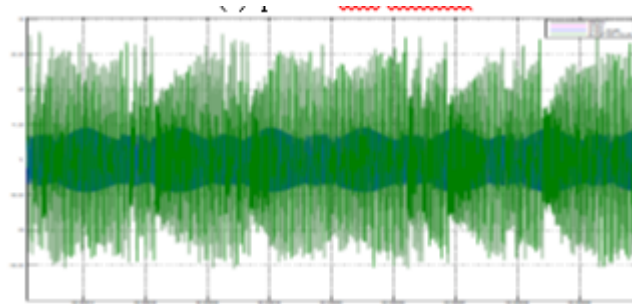


9. (c)

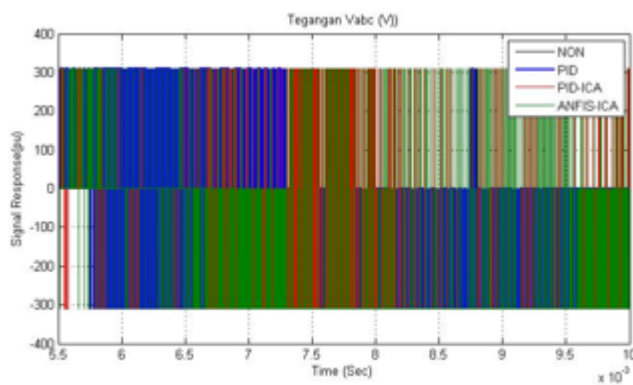
Gambar 12. 9 (c) arus saat steady state



Gambar 13. 10(a).Profile Torsi PMSM saat transien

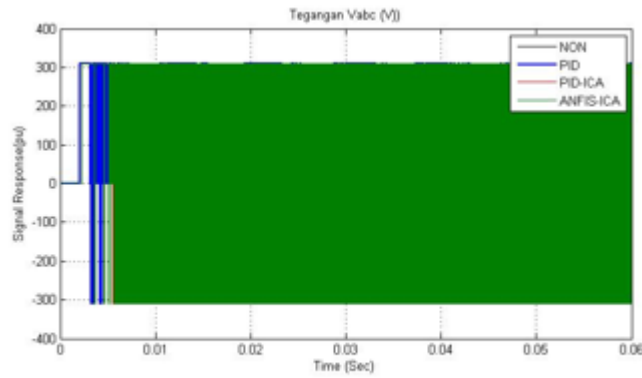


Gambar 14. 10 (b) profile torsi PMSM saat steady state.



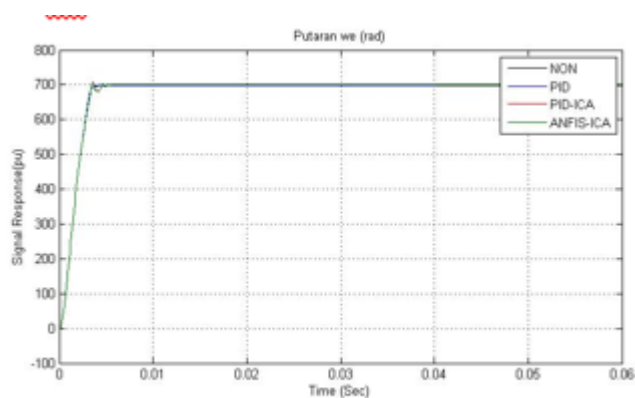
11(a). saat transien

Gambar 15. 11(a) saat transien



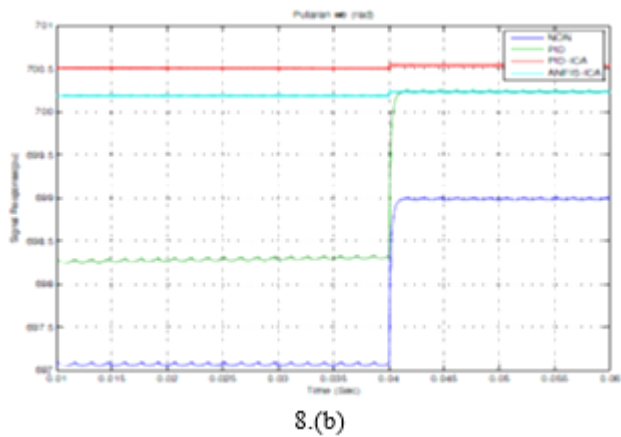
11(b) saat steady state

Gambar 16. 11(b) saat steady state



8.(a)

Gambar 17. Gambar putaran mesin dalam radian (rad)



8.(b)

Gambar 18. jika diperbesar (zoom)