

Optimasi Kontroler Putaran Motor *Permanent Magnet Synchronous Machine* (PMSM) menggunakan PSO-ANFIS (Studi Kasus di Perumdam Tirta Kencana)

M Ibrahim¹, Dannel Ramadhan², Rukslin³, Machrus Ali⁴, Muhlasin⁵
^{1,2,3,4} Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum
¹ iaiemhutapea52@gmail.com,
² danelramadhan08@gmail.com,
³ ruksli05@gmail.com,
⁴ machrus7@gmail.com,
⁵ doktormuhlasin@gmail.com

ABSTRAK

PMSM menggunakan prinsip percobaan faraday dengan memutar magnet dalam koil dengan memanfaatkan sumber energi lain. Ketika magnet bergerak dalam koil atau sebaliknya. Rotasi mesin akan mengubah fluks gaya magnet pada kumparan dan menembus secara tegak lurus ke kumparan sehingga timbul perbedaan potensial antara ujung-ujung kumparan. Itu disebabkan oleh perubahan fluks magnet. Untuk mendapatkan metode kontrol terbaik, diperlukan beberapa model kontrol kecepatan. Dalam penelitian ini membandingkan kontrol kecepatan PMSM tanpa pengontrol, PID Kontrol, PID-PSO, dan hibrid PID-PSO-ANFIS. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model terbaik pada pengontrol PID-PSO-ANFIS yang paling dekat dengan Speed Reff (2980 rpm) adalah bahwa ANFIS memperoleh profil rotasi dengan undershot terkecil, kondisi mantap tercepat, profil arus keluaran terbaik, profil torsi terbaik, dan profil tegangan terbaik. Hasil penelitian ini akan diikuti oleh penggunaan kecerdasan buatan lainnya

Kata Kunci: ANFIS, PSO, PID, Permanent Magnet Synchronous Machine, kontrol kecepatan.

1. Pendahuluan

Perusahaan Umum Daerah Air Minum (PERUMDAM) Tirta Kencana Jl. Raya Brantas No.25, Jati Mawo, Jatigedong, Kec. Ploso, Kabupaten Jombang, Jawa Timur 61453 merupakan salah satu Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) yang ada di Kabupaten Jombang. Sejarah berdirinya Perusahaan Umum Daerah Air Minum (PERUMDAM) Tirta Kencana Kabupaten Jombang dilalui dengan berbagai perubahan nama organisasi. Pertama kali sistem pelayanan air minum Kabupaten Jombang dikelola oleh perusahaan daerah milik Pemerintah Kabupaten jombang. PERUMDAM Tirta Kencana Kabupaten Jombang melaksanakan fungsi pelayanan berupa pemenuhan kebutuhan air bersih bagi masyarakat Jombang. PERUMDAM Tirta Kencana diharapkan dapat memberikan pelayanan akan air bersih yang merata kepada seluruh lapisan masyarakat, membantu perkembangan dunia usaha dan menetapkan struktur tarif yang disesuaikan dengan tingkat kemampuan masyarakat. Untuk pendistribusian air ke pelanggan menggunakan pompa dengan tenaga penggerak motor asynchron.

Meskipun *Synchronous reluctance Machines* memiliki torsi rendah, mereka dapat digunakan dalam sejumlah aplikasi spesifik[1], 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[2][3]. 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. *Proportional Integral Derivative* (PID) *Controller* [4], dan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) [5][6] sering digunakan untuk mengatasi permasalahan optimasi system. PSO tersebut telah banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi kontrol motor[7], optimasi turbin angin[8], optimasi *wind diesel*[9], optimasi mikrohidro[5][10][11], optimasi *photo voltaic*[12][12], optimasi steer kendaraan[13], rekonfigurasi jaringan listrik[14], dan optimasi lainnya..

2. Metode Penelitian

2.1. *Synchronous Reluctance Machines*

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[15].

2.2. PID Kontroller

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*[16].

PID adalah kontrol yang menggunakan komponen proporsional, 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 meliputi pengendali proporsional (K_p), integral (K_i), derivative (K_d).

2.3. Fuzzy Logic Controller (FLC)

Pada penelitian kali ini digunakan metode fuzzy logic untuk memproses dan mengatur nilai masukan referensi kecepatan yang telah di masukkan. *Fuzzy logic controller* menggunakan variabel linguistik bukan variabel numerik[17]. Dalam sistem kontrol, kesalahan antara sinyal referensi dan sinyal *output* kesalahan sinyal dapat dijelaskan sebagai misal nya :

- NB : *Negative Big*
- NS : *Negative Small*
- Z : *Zero*
- PS : *Positive Small*
- PB : *Positive Big*

Rule base yang akan digunakan di tunjukkan pada tabel kesalahan yang terdiri dari 5 anggota dan memiliki keluaran sebanyak 25 anggota.

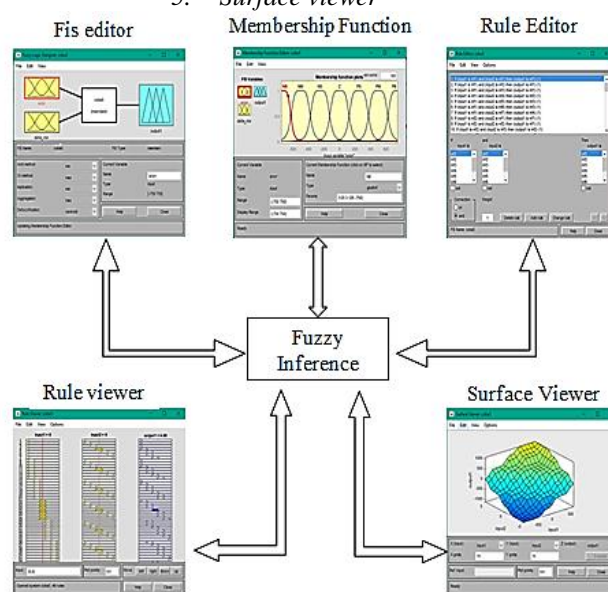
Tabel 1 Rule Base Function

e/de	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NM	Z
NS	NB	NM	NS	Z	PM

Z	NB	NS	Z	PS	PB
PS	NM	Z	PS	PM	PB
PB	Z	PM	PB	PB	PB

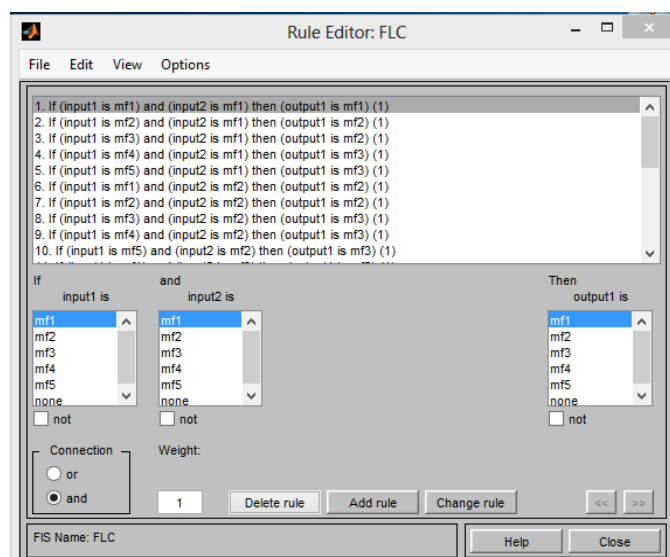
Dalam *software* MATLAB *simulink* tersedia *Fuzzy Logic Toolbox* dimana memiliki 5 jenis *Graphic User Interface* (GUI) untuk merancang *fuzzy inference system* (FIS). Berikut merupakan 5 jenis *Graphic User Interface* (GUI):

1. *Fis Editor*
2. *Membership function*
3. *Rule editor*
4. *Rule viewer*
5. *Surface viewer*



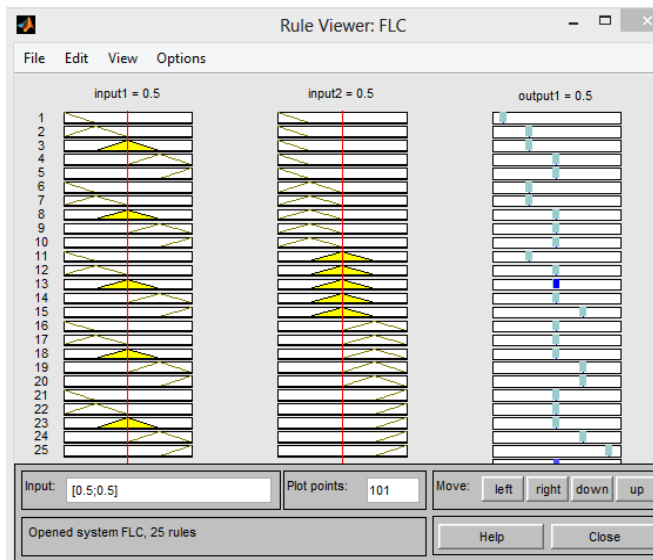
Gambar 1. Fuzzy Inference System pada Matlab

Rule editor pada FLC dapat dilihat pada Gambar 2.



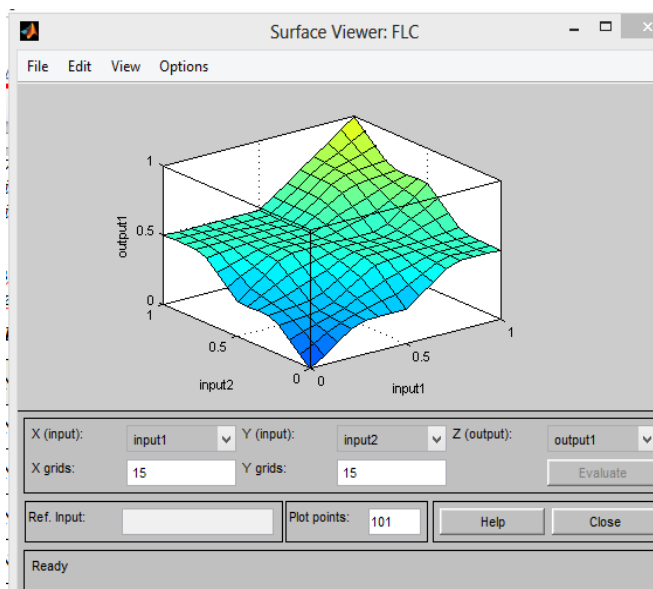
Gambar 2. Rule Editor FLC.

Rule Viewer FLC dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rule Viewer FLC

Surface Viewer FLC dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Surface Viewer FLC

2.4. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

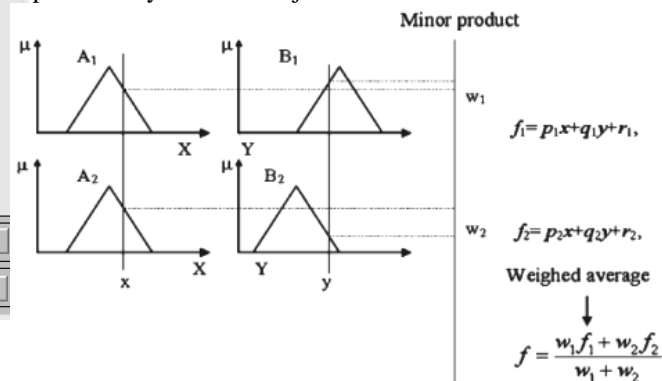
Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) adalah penggabungan mekanisme Fuzzy Inference System (FIS) yang dijelaskan dalam arsitektur Neural Network (NN). Dalam simulasi, arsitektur ANFIS digunakan untuk memodelkan fungsi-fungsi nonlinier, mengidentifikasi komponen-komponen nonlinear secara online 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 [18]. 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:

$$\text{Rule 1 : if } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ then } f_1 = p_1x + q_1y + r_1$$

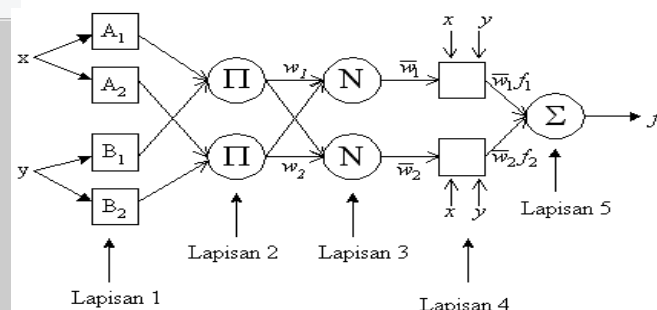
$$\text{Rule 2 : if } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ then } f_2 = p_2x + q_2y + r_2$$

Input: x dan y. konsekuen jika f.



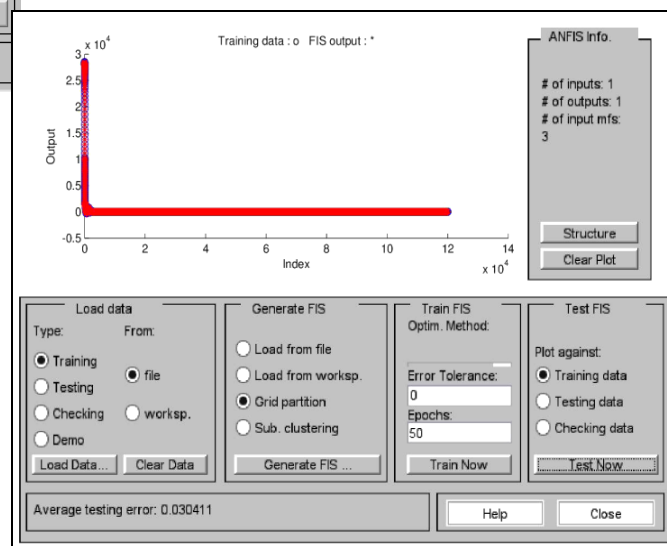
Gambar 5. Fuzzy Inference System

Struktur ANFIS dapat dilihat pada Gambar 6.



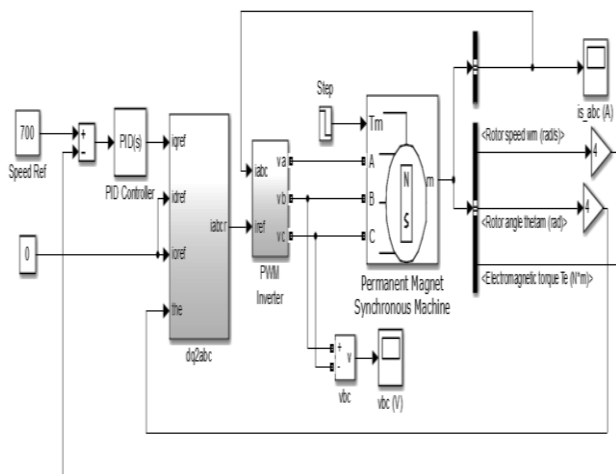
Gambar 6. Struktur ANFIS

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



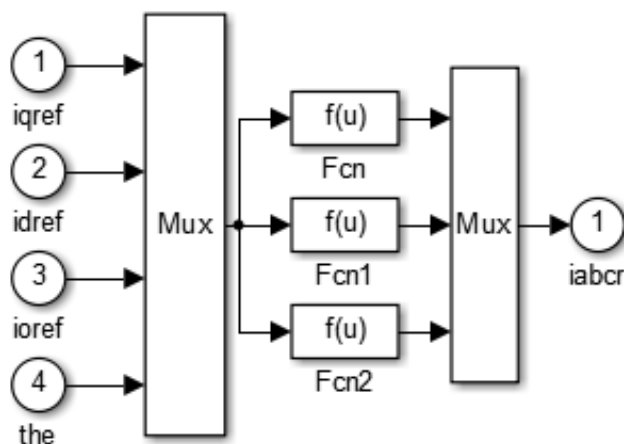
Gambar 7. Hasil training test data ANFIS

Permanent Magnet Synchronous Machine



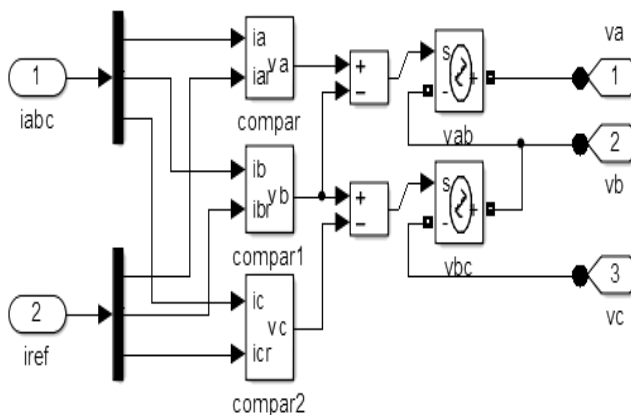
Gambar 5. Simulink MSM[2]

Simulink konversi dq ke abc dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Konversi sumbu dq ke abc

Gambar PWM inverter dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. PWM inverter

2.5. Parameter Mesin

Mesin tiga fase dengan nilai 132 kW, 220/380 V, 2980 rpm diumpankan 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. Arus 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 T_e . Namun, inersia motor mencegah kebisingan ini muncul dalam bentuk gelombang kecepatan motor.

3. Pemodelan Sistem

3.1. Pemodelan

Permasalahan kestabilan transien dapat dihitung melalui kondisi keadaan awal (*Initial condition*) sebelum gangguan, selama gangguan dan setelah gangguan. Kondisi awal sebelum gangguan didefinisikan x_{pre} , ketika gangguan terjadi pada saat $t=0$. Kemudian sistem diatur oleh persamaan dinamis ketika gangguan seperti berikut [5],

$$\dot{x} = fF(x), 0 \leq t \leq \tau, x(0) = x_{pre} \quad (1)$$

Dimana $x \in R^N, t \in R, fF: R^N \rightarrow R^N$

Kurva hasil perhitungan persamaan diatas adalah berupa lintasan terjadinya gangguan (*fault on trajectory*), persamaan 1 dapat ditulis

$$x(t) = X_F(t; x_{pre}), 0 \leq t \leq \tau \quad (2)$$

Dimana $X_F(t; x_{pre}): R \rightarrow R^N$

Gangguan dihilangkan saat $t = \tau$ dan sistem diatur oleh persamaan dinamis seperti berikut,

$$\dot{x} = f(x), \tau \leq t \leq \infty; f: R^N \rightarrow R^N \quad (3)$$

Hasil dari persamaan diatas merupakan lintasan setelah terjadi gangguan. Persamaan 3 dapat ditulis

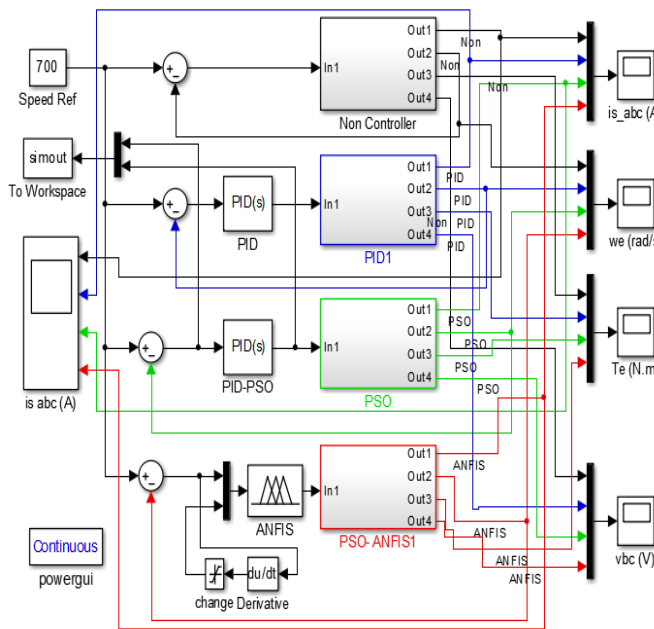
$$x(t) = X(t; x^0), \tau \leq t \leq \infty; X(t; x^0): R^N \rightarrow R^N \quad (4)$$

Dengan catatan kondisi awal x^0 adalah titik pada lintasan kritis saat gangguan saat waktu τ , waktu gangguan hilang

$$x^0 = X_F(\tau, x_{pre}) \quad (5)$$

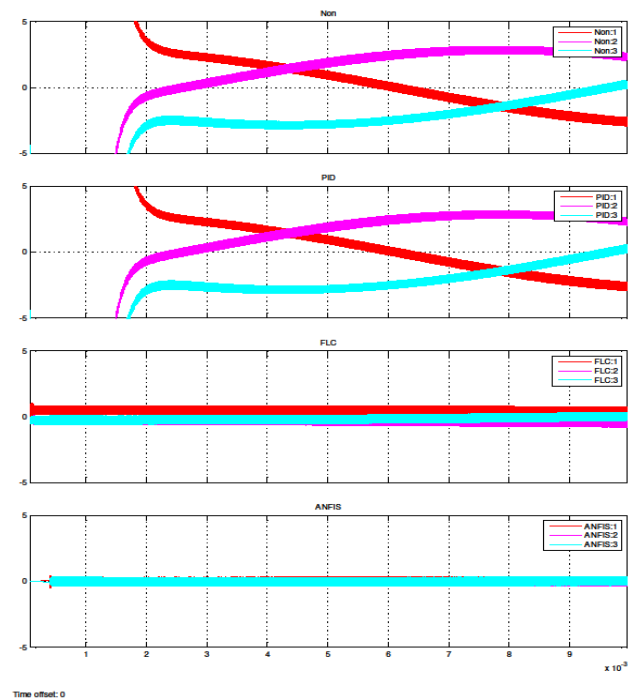
4. Simulasi Dan Analisis Data

Desain PMSM dapat dilihat pada Gambar 9.

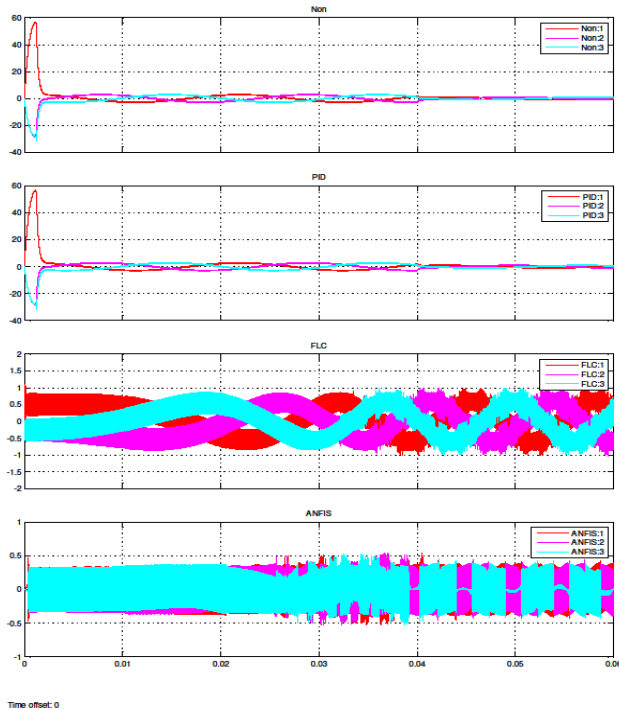


Gambar 9. Desain model controller

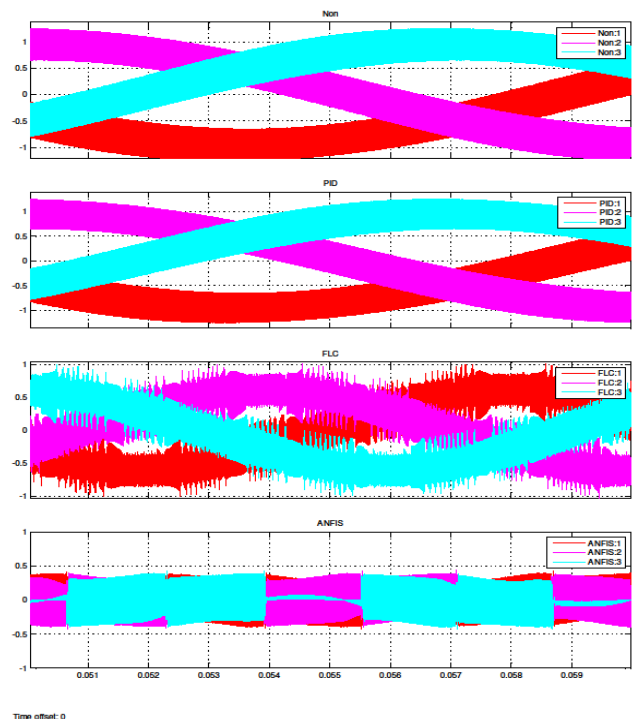
Profile arus output (is) dalam ampere, dapat dilihat pada gambar 10(a), 10(b), dan 10(c).



10.(B)



10.(A)



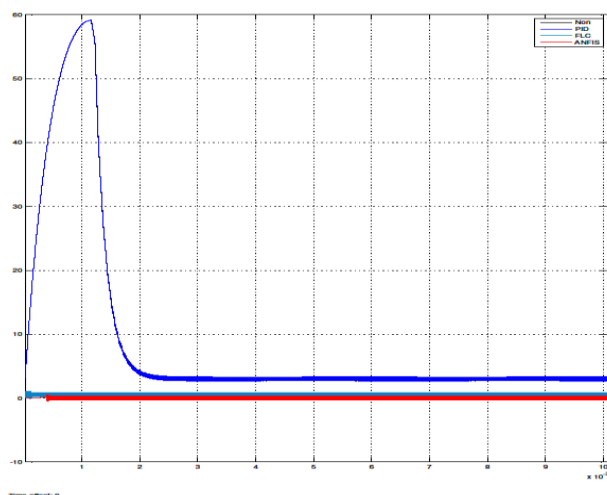
10. (c)

Gambar 10. Desain (a) Arus output 3 fase, (b) Arus saat transien, (c) arus saat steady state

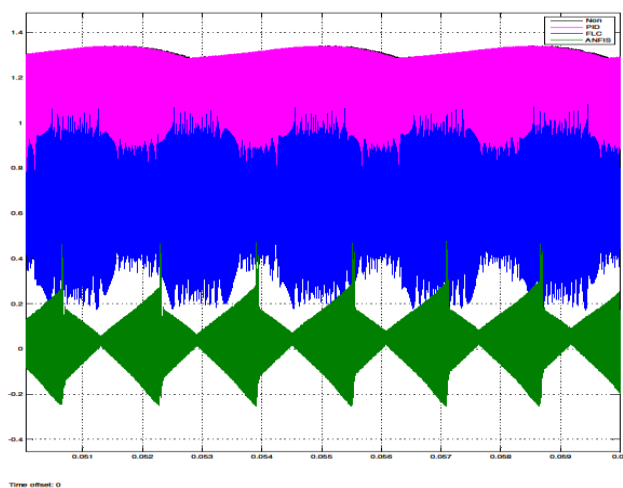
Dari gambar 9.(a), 9.(b), dan 9(c) menunjukkan bahwa profile arus output terbaik pada PSO controller. Pada saat *transien* dihasilkan overshoot pada Tanpa Kontrol = 56.79 A, pada PID = 56.78 A, pada PSO = 15.26 A, dan PSO-ANFIS = 16.85 A. Pada *steady state* tanpa kontrol = 0.98 A, pada

PID = 0.99 A, pada PSO = 3.39 A, dan pada PSO-ANFIS = 2.45 A.

Profile Torsi yang didapatkan dapat dilihat pada gambar 11(a) dan 11(b)



11(a).

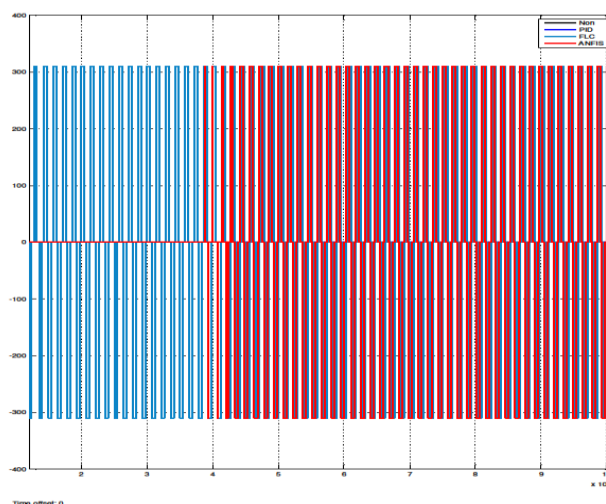


11 (b) saat *steady state*

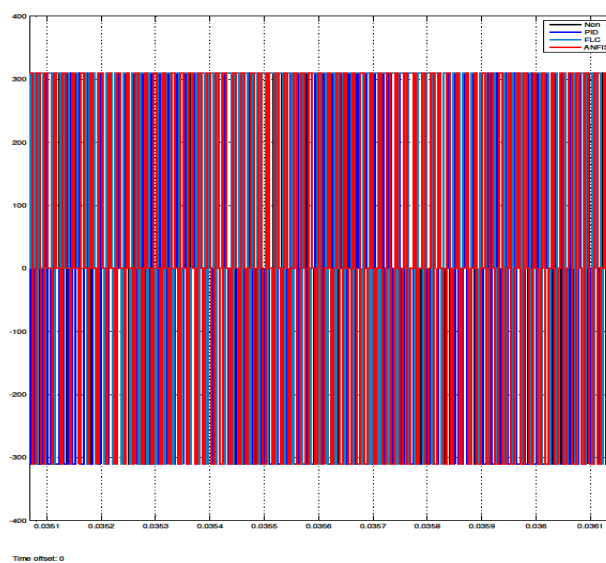
Gambar 11. (a) Profile Torsi PMSM sat transien dan 10(b) profile torsi PMSM saat steady state.

Dari gambar 11.(a) dan 11.(b) menunjukkan bahwa profile torsi terbaik (*overshot* terkecil) pada PSO-ANFIS *controller*. Pada saat *transien* dihasilkan overshoot pada Tanpa Kontrol = 59.19 pu, pada PID = 59.19 pu, pada PSO = 1.32 pu, dan PSO-ANFIS = 0.28 pu.

Profile Tegangan yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 12(a) dan 12(b).



12(a).

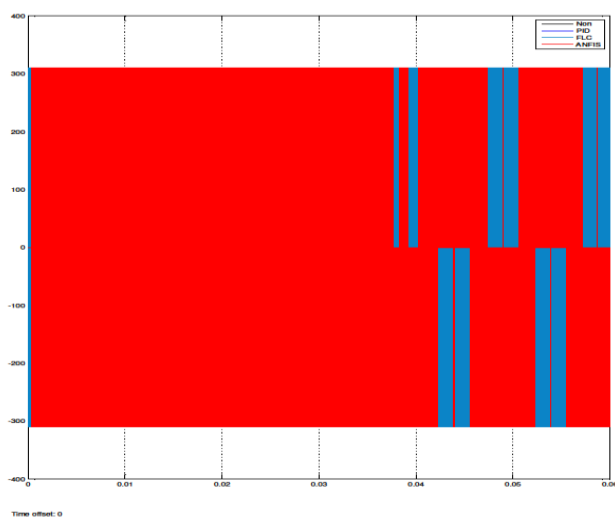


12(b)

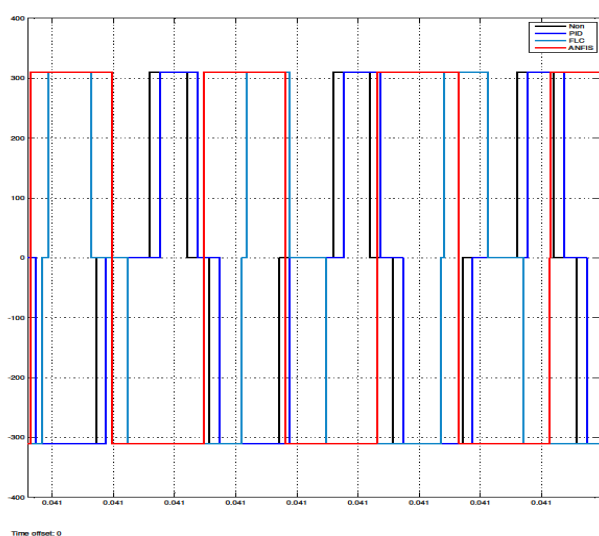
Gambar 12. (a) saat Transien, (b) saat steady state profile tegangan PMSM

Dari gambar 12.(a) dan 12.(b) menunjukkan bahwa profile tegangan terbaik (paling kontinyu) pada PSO-ANFIS *controller*. Pada saat transien dihasilkan frekuensi tegangan pada Tanpa Kontrol sebesar 296.8 Volt dengan frekuensi luaran 6.666 Hz, pada PID sebesar 298.4 Volt dengan frekuensi luaran 8.33 kHz, pada PSO sebesar 300.2 Volt dengan frekuensi luaran 8.75 kHz, dan PSO-ANFIS sebesar 300.03 Volt dengan frekuensi luaran 8.84 kHz.

Gambar putaran mesin ω (rad) bisa dilihat pada gambar 13.a dan 13.b .



13.(a)



13.(b)

Gambar 13. (a). putaran mesin dalam radian (rad) dan (b). jika diperbesar (zoom)

Dari gambar 13.(a) dan 13.(b) menunjukkan bahwa model yang paling mendekati Speed ref (300 rpm) adalah PSO-ANFIS dengan *undershoot* terkecil sebesar 300.015 rpm pada saat $t = 0.0055$ detik dan steady state pada 300.02 rpm pada 0.004 detik. Tanpa kontrol terjadi *undershoot* sebesar 297 rpm pada saat $t=0.0055$ detik dan steady state pada 299 rpm pada 0.004 detik. PID kontrol terjadi *undershoot* sebesar 298.3 rpm pada saat $t=0.0055$ detik dan *steady state* pada 300.3 rpm pada saat 0.04 detik. PSO terjadi *undershoot* sebesar 0.002 pu pada saat $t=0.0055$ detik dan *steady state* pada 300.3 rpm pada saat 0.004 detik.

5. Kesimpulan

Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa model yang paling mendekati *Speed ref* (300 rpm) adalah PSO-ANFIS didapatkan profile putaran dengan

undershoot terkecil sebesar 300.015 rpm pada saat $t = 0.0055$ detik dan steady state pada 300.002 rpm pada 0.004 detik, didapatkan profile arus *output* terbaik pada $PSO = 3.39$ A, didapatkan profile torsi terbaik (*overshoot* terkecil) pada PSO-ANFIS controller sebesar 0.28 pu, didapatkan profile tegangan terbaik (paling kontinyu) sebesar 300.03 Volt dengan frekuensi luaran 8.84 kHz. Secara keseluruhan dapat dinyatakan bahwa *desain control* terbaik pada PSO-ANFIS controller.

Daftar Pustaka

- [1] F. Morel, J. M. Rétif, X. Lin-Shi, and C. Valentin, "Permanent magnet synchronous machine hybrid torque control," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 2, pp. 501–511, 2008, doi: 10.1109/TIE.2007.911938.
- [2] P. L. Chapman, "Permanent-Magnet Synchronous Machine Drives," *Simulation*, 2002, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2003.09.035.
- [3] Budiman, M. Ali, and M. R. Djalal, "Kontrol Motor Sinkron Permanen Magnet Menggunakan Algoritma Firefly," in *SEMANTIKOM 2017, Universitas Madura*, 2017, pp. 9–16, [Online]. Available: http://semantikom.unira.ac.id/2017/SEMANTIKOM_2017_paper_3.pdf.
- [4] B. Kadaryono, Kadaryono; Rukslin, Rukslin; Ali, Machrus; Budiman, "Optimasi PID dan SMES pada Mikrohidro Berbasis Firefly Algorithm," *J. TECNOSCIENZA*, vol. 3, no. 1, pp. 65–80, 2018, [Online]. Available: <http://ejournal.kahuripan.ac.id/index.php/TECNOSCIENZA/article/view/111>.
- [5] M. Muhlasin, R. Rukslin, A. Raikhani, and M. Ali, "The FA-ANFIS Hybrid Method is used for LFC Optimization in Micro Hydro Power Generation," in *Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI 2017)*, 2017, pp. 225–229, [Online]. Available: http://fortei.org/v2/wp-content/uploads/2017/12/43-Fullpaper_Muhlasin_Fullpaper_Muhlasin_Paper_Fortei_Muhlasin_Microhydro_FA-Anfis.pdf.
- [6] M. Ali, H. Nurohmah, Budiman, J. Suharsono, H. Suyono, and M. A. Muslim, "Optimization on PID and ANFIS Controller on Dual Axis Tracking for Photovoltaic Based on Firefly Algorithm," in *2019 International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE)*, Oct. 2019, pp. 1–5, doi: 10.1109/ICEEIE47180.2019.8981428.
- [7] M. N. Masrukhan, M. P. Mulyo, D. Ajiatmo, and M. Ali, "Optimasi Kecepatan

- Motor DC Menggunakan Pid Dengan Tuning Ant Colony Optimization (ACO) Controller,” in *SENTIA-2016, Polinema, Malang*, 2016, pp. B49–B52, [Online]. Available: <http://sentia.polinema.ac.id/index.php/SENTIA2016/article/view/76>.
- [8] M. F. Rachman, S. Muttaqin, and M. Ali, “Penggunaan Metode Imperialist Competitive Algorithm (ICA) untuk kontrol Frekuensi pada Wind-Turbine dan Hybrid Wind-Diesel,” in *SAINTEK II-2017, UB, Malang*, 2017, pp. 99–102.
- [9] M. Arrohman, R. Fajardika, Muhlasin, and M. Ali, “Optimasi Frekuensi Kontrol pada Sistem Hybrid Wind-Diesel Menggunakan PID Kontroler Berbasis ACO dan MFA,” in *SAINTEK II-2017, UB, Malang*, 2017, pp. 124–127.
- [10] Sunarto, D. Ristyanto, Rukslin, Kadaryono, and M. Fakhrurozi, “Superconducting Magnetic Energy Storage Sebagai Optimasi LFC Berbasis Ant Colony Optimization Pada Mikro Hidro,” *SinarFe7*, vol. 2, no. 1, pp. 24–29, 2018, [Online]. Available: <https://ejournal.fortei7.org/index.php/SinarFe7/article/view/127>.
- [11] K. Hanjaya, A. Raikhani, and H. Nurohmah, “Perencanaan Mikrohidro Untuk Penerangan Peternakan Sapi Di Galengdowo Jombang,” *SinarFe7*, vol. 1, no. 1, pp. 40–45, 2018, [Online]. Available: <https://ejournal.fortei7.org/index.php/SinarFe7/article/view/130>.
- [12] M. Octavian, Ari; Darmawan, Hofman; Nurohmah, Hidayatul; Ali, “Optimasi Dual Axis Tracking Untuk Photovoltaic Berbasis Firefly Algorithm dan Ant Colony Optimization,” *SinarFe7*, vol. 1, no. 1, pp. 177–182, 2018, [Online]. Available: <https://ejournal.fortei7.org/index.php/SinarFe7/article/view/59>.
- [13] M. Ali, F. Hunaini, I. Robandi, and N. Sutantra, “Optimization of active steering control on vehicle with steer by wire system using Imperialist Competitive Algorithm (ICA),” in *2015 3rd International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, May 2015, pp. 500–503, doi: 10.1109/ICoICT.2015.7231475.
- [14] M. Ali, D. Ajiatmo, and M. R. Djalal, “Aplikasi Modified-Imperialist-Competitive-Algorithm (MICA) Untuk Merekonfigurasi Jaringan Radial Tenaga Listrik Pada Penyulang Mojoagung,” *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 49–53, 2017, doi: 10.21070/jeee-u.v1i2.1020.
- [15] M. R. Djalal, A. Imran, M. Ali, and H. Setiadi, “Modifikasi Desain PID Controller Pada Permanent Magnet Synchronous Motor Dengan Flower Pollination Algorithm,” *J. Tek. Elektro-ITP*, vol. 6, no. 2, pp. 163–169, 2017, [Online]. Available: <https://ejournal.itp.ac.id/index.php/telektro/article/view/652>.
- [16] M. Ali and M. Muhlasin, “Kontrol Kecepatan Putaran Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM) Menggunakan PID, FLC Dan ANFIS,” *J. Elektro*, vol. 4, no. 1, p. 253, 2019, doi: 10.30736/je.v4i1.302.
- [17] S. N. Sivanandam, S. Sumathi, and S. N. Deepa, *Introduction to fuzzy logic using MATLAB*. 2007.
- [18] J. S. R. Jang, “ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System,” *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. 23, no. 3, pp. 665–685, 1993, doi: 10.1109/21.256541.