

FIELD-ORIENTED CONTROL PERMANENT MAGNET MOTOR SINKRON MENGGUNAKAN ALGORITMA KUNANG-KUNANG

Muhammad Ruswandi Djalal^{1*}, Andareas Pangkung², Marhatang³, Sonong⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang

Jalan Perintis Kemerdekaan 7 km.10, Makassar 90245, Indonesia

E-mail : *wandi@poliupg.ac.id

Diterima: 29 Januari 2018

Direvisi: 17 Maret 2018

Disetujui: 3 April 2018

ABSTRAK

Penggunaan kontroler PID (*Proporsional-Integral-Derivatif*) pada sebuah motor sinkron sangat banyak digunakan, karena strukturnya yang sederhana, kokoh yang kuat dan mudah digunakan. Penggunaan kontroler PID diperlukan pengaturan parameter yang tepat untuk kinerja yang optimal pada motor. Solusi yang sering digunakan adalah metode *trial-error*, untuk menentukan parameter yang tepat untuk PID, namun hasil yang didapat tidak membuat kontroler PID optimal. Belakangan ini sudah banyak penelitian untuk mengoptimasi kontroler PID, salah dengan metode cerdas. Untuk itu pada penelitian ini akan digunakan metode optimasi *Algorithm Firefly*, untuk mengoptimasi dan menentukan parameter yang tepat dari PID. FA adalah salah satu metode cerdas yang terinspirasi dari perilaku kunang-kunang yang bergerak di malam hari dengan kebiasaan berkedip, konsep inilah yang diadaptasi dan diterapkan menjadi algoritma cerdas untuk menyelesaikan masalah optimasi. Dari hasil yang diperoleh metode Firefly dapat dengan baik menala parameter PID. Dari hasil yang memiliki metode firefly dapat dengan baik menala parameter PID, sehingga *overshoot* yang dihasilkan semakin cepat dan waktu *settling* sangat cepat. Hasil optimasi K_p 0.7417, K_i 0.3588, K_d 0.1. *Overshoot* yang dihasilkan masing-masing, tanpa *control* sebesar 43.33 pu, PID *Trial* sebesar 30.26 pu, dan PID *Firefly* sebesar 32.1 pu.

Kata Kunci: Motor Sinkron, PID, Firefly, Overshoot, Settling time

ABSTRACT

The use of a PID (*Proportional-Integral-Derivative*) controller on a synchronous motor is very widely used, because of its simple, robust structure that is robust and easy to use. The use of PID controllers requires proper parameter adjustment for optimal performance on the motor. The most commonly used solution is the *trial-error* method, to determine the correct parameters for PID, but the results do not make the PID controller optimal. Lately there has been a lot of research to optimize PID controller, wrong with smart method. For this purpose, we will use the optimized *Algorithm Firefly* method, to optimize and determine the exact parameters of PID. The FA is one of the smart methods inspired by the behavior of firefly that moves at night with the habit of blinking, it is this concept that is adapted and applied to be a smart algorithm to solve optimization problems. From the results obtained the *Firefly* method can well tune the PID parameters. From the results that have *firefly* method can be well tuned parameters PID, so that the resulting *overshoot* faster and *settling* time is very fast. Optimization results K_p 0.7417, K_i 0.3588, K_d 0.1. *Overshoot* generated respectively, without *control* of 43.33 pu, *Trial* PID of 30.26 pu, and *Firefly* PID of 32.1 pu.

Keywords: Synchronous Motor, PID, Firefly, Overshoot, Settling time

PENDAHULUAN

Penggunaan motor listrik AC sudah banyak digunakan dari pada motor DC karena arus AC dapat dibangkitkan dan didistribusikan dengan biaya yang lebih murah dari pada arus DC. Selain itu, motor listrik AC memiliki keunggulan dalam hal biaya, ukuran, berat, dan membutuhkan lebih sedikit perawatan dibanding motor DC. Salah satu jenis motor listrik AC adalah motor sinkron. Penggunaan motor sinkron sudah banyak di industry dan sebagai alat pengontrolnya digunakan controller Proportional Integral Derivative (PID). Penggunaan peralatan PID juga memiliki permasalahan tersendiri, yaitu nilai gain yang masih di tuning secara manual. Kontrol (PID) memiliki kinerja yang baik sehingga banyak digunakan dalam dunia industri. Namun memiliki kelemahan yaitu membutuhkan perhitungan matematik yang rumit untuk mengisi masing-masing nilai gain dari PID.

Beberapa metode optimasi berbasis metode konvensional maupun metode cerdas telah banyak digunakan untuk mengoptimasi parameter PID pada motor listrik, diantaranya Artificial Bee Colony (Liao, Hu, & Wang, 2014), Evolutionary Algorithm (Ting, Xie, & Jing, 2008), Particle Swarm Optimization (BAZI, 2009; Fan et al., 2013), Bio-Inspired Algorithm (Katal & Singh, 2012), Bacterial Foraging (Bhushan & Singh, 2011; Precup, David, Petriu, Preitl, & Rădac, 2013), Genetic Algorithm (Chen, Ma, & Yun, 2013) Fuzzy Logic (Bansal & Narvey), dan Cuckoo Search (Djalal, Ajiatmo, Imran, & Robandi, 2015). Untuk mengatasi permasalahan di atas, pada penelitian ini diusulkan sebuah metode Algoritma Firefly untuk mengontrol kecepatan motor sinkron.

PEMODELAN MOTOR SINKRON

Sistem dimodelkan dengan d-q model digambarkan pada persamaan berikut (Liao et al., 2014).

$$\lambda_{sd} = L_d i_{sd} + \lambda_{PM} \quad (1)$$

$$\lambda_{sq} = L_q i_{sq} \quad (2)$$

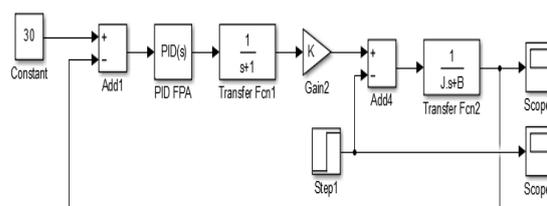
$$v_{sd} = R_s i_{sd} + L_d \frac{d}{dt} i_{sd} - w_r L_q i_{sq} \quad (3)$$

$$v_{sq} = R_s i_{sq} + L_q \frac{d}{dt} i_{sq} - w_r L_d i_{sd} + w_r \lambda_{PM} \quad (4)$$

Di mana λ_{sd} dan λ_{sq} adalah sumbu d-q fluks stator; i_{sd} dan i_{sq} adalah sumbu d-q arus stator; λ_{PM} adalah fluks medan magnet; R_s adalah resistansi stator; w_r adalah kecepatan rotor. Torsi T_{EM} dituliskan pada persamaan 5, dengan asumsi L_d dan L_q sama.

$$T_{EM} = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \lambda_{PM} i_{sq} \quad (5)$$

Pemodelan motor sinkron yang digunakan ditampilkan sebagai berikut.



Gambar 1. Pemodelan Motor sinkron di Simulink

Kontrol PID adalah salah satu kontrol yang sudah banyak digunakan pada aplikasi industri karena strukturnya yang sederhana, PID kontrol

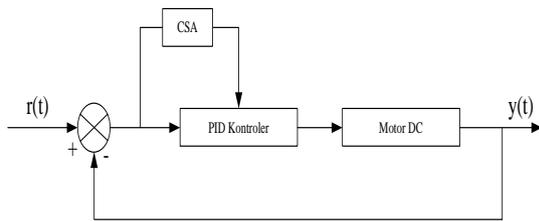
$$u(t) = k_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de_t}{dt}] \quad (6)$$

Di mana, $u(t)$ adalah nilai kontrol yang dihitung oleh kontroler PID, K_p adalah koefisien proporsional, T_i adalah integral waktu konstan dan T_d adalah diferensian time konstan. Fungsi dari ketiga elemen tersebut adalah :

- Proporsional: menggambarkan sinyal deviasi $e(t)$ dari sistem kontrol proporsional. ketika sinyal $e(t)$ ada, kontroler PID menghasilkan efek kontrol segera untuk mengurangi penyimpangan.
- Integral : digunakan untuk menghilangkan kesalahan statis dan meningkatkan stabilitas sistem.
- Diferensial : mencerminkan perubahan penyimpangan sinyal, memperkenalkan sinyal koreksi sebelum penyimpangan nilai sinyal menjadi lebih besar dan mempercepat respon sistem untuk mengurangi pengaturan waktu.

Oleh karena itu, merancang kontroler PID terutama berarti menentukan tiga parameter,serta bagaimana mengkombinasikan ketiga parameter PID (K_p , K_i , K_d). Dalam penelitian ini, *Firefly Algorithm* diusulkan

untuk mencari parameter optimal PID. Blok diagram sistem kontrol ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Sistem Kontroler PID-Firefly

Parameter motor sinkron yang digunakan ditampilkan pada table berikut.

Tabel 1. Parameter Motor Sinkron (Liao et al., 2014)

No	Parameter	Nilai
1	Resistansi Stator	1Ω
2	Induktansi d-axis	1mH
3	Torsi Konstan	0.0475NM
4	Jumlah Kutub	2
5	Induktansi q-axis	1mH
6	Momen Inersia	0.0006kgm ²

FIREFLY ALGORITHM

Algoritma ini pertama ditemukan oleh Dr. Xin-She Yang di Universitas Cambridge pada tahun 2007. Pada algoritma ini terdapat tiga perumusan dasar :

1. Semua kunang-kunang adalah unisex, jadi suatu kunang-kunang akan tertarik dengan kunang-kunang lain terlepas dari jenis kelamin mereka.
2. Daya tarik sebanding dengan kecerahan, maka kunang-kunang dengan kecerahan lebih redup akan bergerak ke arah kunang-kunang dengan kecerahan lebih terang dan kecerahan berkurang seiring dengan bertambah jarak. Apabila tidak ada kunang-kunang yang memiliki kecerahan paling cerah maka kunang-kunang akan bergerak random.
3. Tingkat kecerahan kunang-kunang dideterminasikan oleh tempat dari fungsi objektif kunang-kunang.

Dalam proses permasalahan optimisasi, kecerahan cahaya kunang-kunang adalah sebanding untuk nilai dari fungsi tujuan. Bentuk lain dari kecerahan dapat didefinisikan pada cara yang sama untuk fungsi fitness pada

algoritma genetika. Berdasarkan pada ketiga peraturan ini, langkah dasar dari algoritma kunang-kunang (FA) dapat diringkas sebagai *pseudo code* berikut :

Tabel 2. Pseudo Code Firefly

Fungsi objektif $f(x)$, $x = (x_1, \dots, x_d)^T$
 Inisialisasi populasi kunang-kunang x_i ($i = 1, 2, \dots, n$)
 Tentukan koefisien penyerapan cahaya γ
 while ($t < \text{Max Generation}$)
 for $i = 1 : n$ semua n kunang-kunang
 for $j = 1 : i$ semua n kunang-kunang
 Intensitas cahaya I_i pada x_i ditentukan oleh $f(x_i)$
 if ($I_j > I_i$)
 Pindahkan kunang-kunang I menuju j pada dimensi d
 end if
 Ketertarikan populasi dengan jarak r pada $\exp[-\gamma r]$
 Evaluasi solusi baru dan perbarui intensitas cahaya
 end for j
 end for i
 Urutkan peringkat kunang-kunang dan cari posisi terbaik baru
 end while

Penalaan PID dengan Firefly

Gambar berikut menunjukkan diagram alir algoritma metode *Firefly Algorithm (FA)* yang digunakan pada penelitian ini untuk menala parameter PID. Fungsi objektif yang digunakan untuk menguji kestabilan sistem adalah dengan *Integral Time Absolut Error (ITAE)*.

$$ITAE = \int_0^t |\Delta\omega(t)| dt \quad (7)$$

Parameter PID yang ditala oleh FA adalah K_p , K_i dan K_d . Adapun untuk diagram alir proses penalaan parameter PID dengan menggunakan metode *Firefly Algorithm (CSA)* ditunjukkan oleh *flowchart* pada Gambar 5 dan gambar 4 menunjukkan pemodelan motor sinkron pada Simulink Matlab 2015.

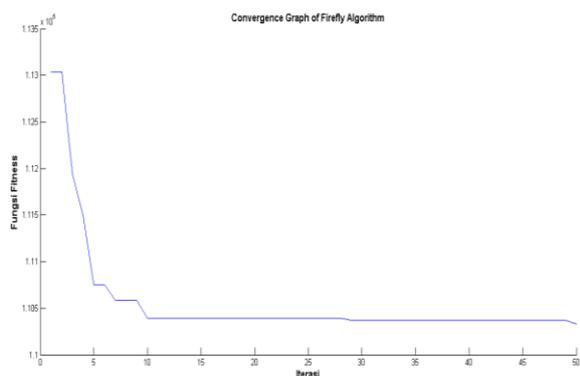
Tabel 3. Parameter Firefly

Parameter	Nilai
Alpha	0.25
Beta	0.2
Gamma	1
Dimensi	80

Jumlah Kunang-Kunang	80
Iterasi Maksimum	50
Iteration Parameters	50
Dimension	3
Batas Atas Kp, Ki, Kd	[1 1 0.1]
Batas Bawah Kp, Ki, Kd	[0.1 0.1 0.01]

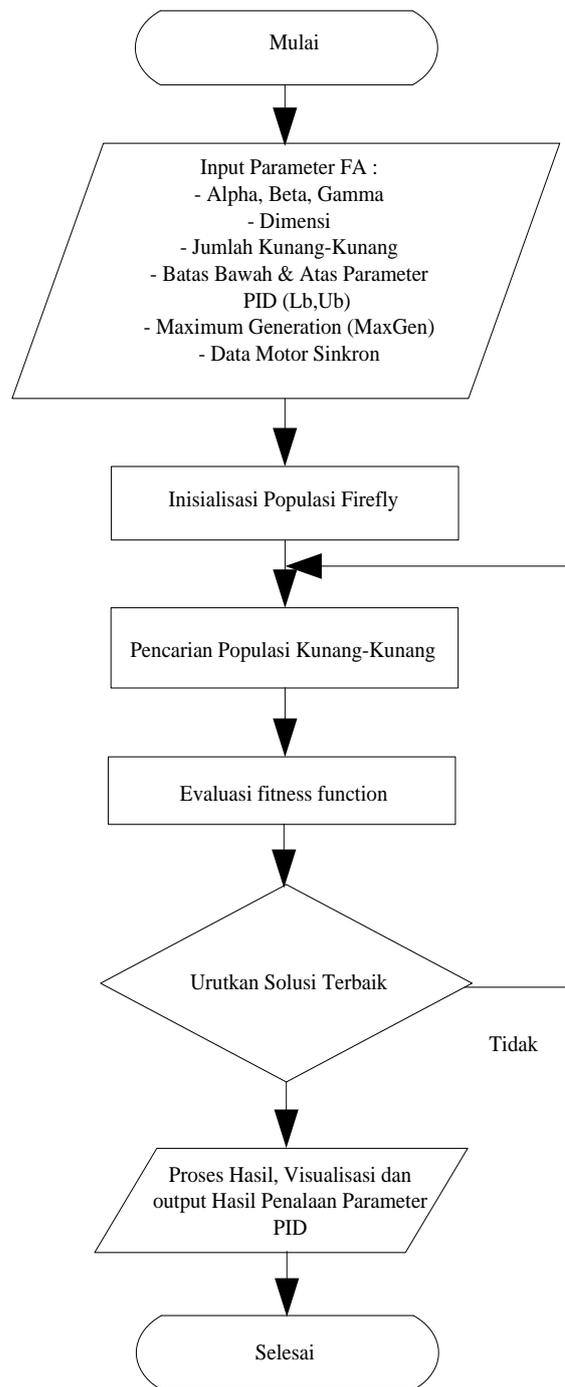
Tabel 4. Hasil Penalaan Parameter PID

Parameter	Firefly
K_p	0.7417
K_i	0.3588
K_d	0.1



Gambar 4. Convergence Graph

Dari grafik di atas, terlihat proses konvergensi algoritma yang cepat dalam melakukan perhitungan. Dimana algoritma firefly sudah konvergen pada iterasi ke 10. Dari hasil optimasi didapatkan parameter PID masing-masing $K_p = 0.7417$, $K_i = 0.3588$, $K_d = 0.1$. Berikut ditampilkan respon masing-masing studi kasus.



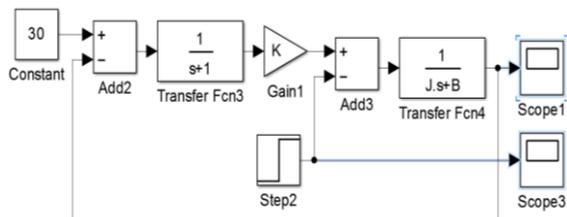
Gambar 3. Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

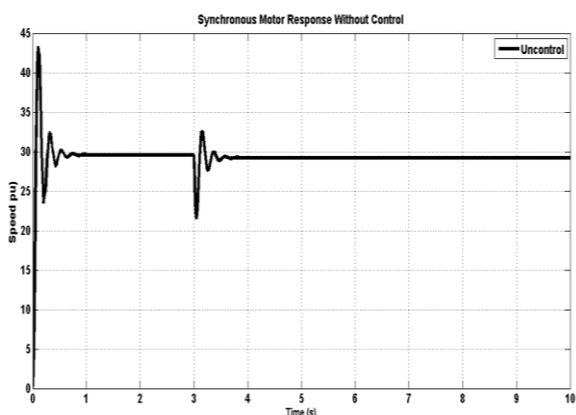
Simulasi pertama adalah simulasi open loop Motor Sinkron tanpa *controller*. Berikut hasil simulasi. Gambar berikut menunjukkan proses konvergensi algoritma firefly dalam melakukan optimasi terhadap parameter PID motor sinkron.

A. Respon Kecepatan Motor Sinkron tanpa Controller

Simulasi pertama adalah simulasi open loop Motor Sinkron tanpa controller. Gambar berikut menunjukkan pemodelan system tanpa controller. Untuk melihat respon system tanpa control, ditampilkan pada gambar 6.



Gambar 5. Pemodelan Motor Sinkron Tanpa Kontrol



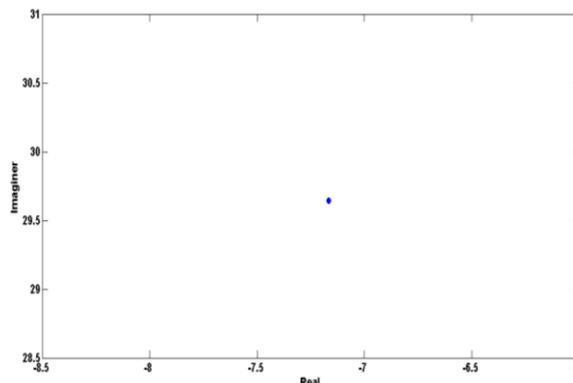
Gambar 6. Respon kecepatan motor sinkron tanpa control

Tabel berikut menunjukkan karakteristik system masing-masing nilai overshoot (Max), nilai mean, dan nilai median.

Tabel 5. Statistik respon system tanpa kontrol

Parameter	Value
Max	43.33
Mean	28.34
Median	29.21

Gambar berikut menunjukkan analisa eigenvalue saat system tanpa control.



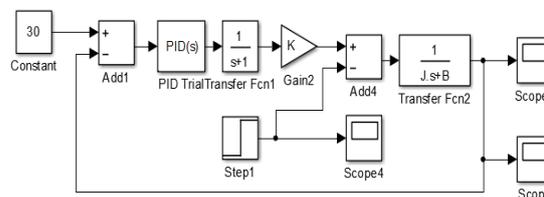
Gambar 7. Eigenvalue motor sinkron tanpa kontrol

Dari hasil simulasi tanpa kontroler, didapatkan respon osilasi kecepatan motor sinkron yang sangat tinggi, yaitu sebesar 43.33 dari setpoint sebesar 30. Hal ini dikarenakan sistem tidak ada umpan balik, sehingga motor bekerja tanpa ada batasan dan untuk sistem yang seperti ini sangat dihindari. Kemudian ketika ada perubahan beban pada $t=3s$, respon motor tidak begitu baik merespon perubahan beban, oleh karenanya terdapat osilasi yang sangat besar. Gambar 7 menunjukkan nilai eigenvalue system di mana terdapat satu nilai eigen.

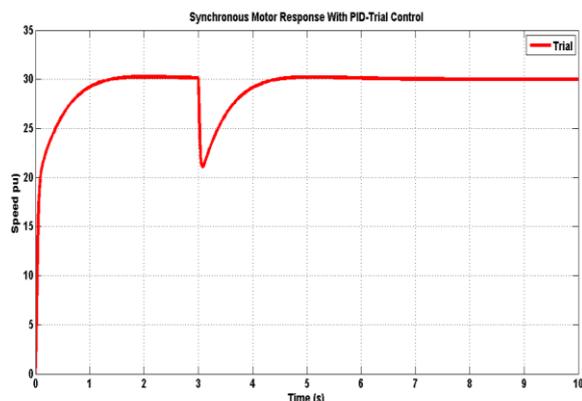
Untuk itu sangat diperlukan desain sistem kontrol yang tepat dengan penambahan kotroler PID pada motor sinkron, sehingga kecepatan yang dihasilkan dapat dikontrol sesuai dengan beban yang dikopel oleh motor sinkron.

B. Respon Kecepatan Motor Sinkron dengan PID Trial

Simulasi system yang kedua adalah system dengan control PID yang dituning secara coba-coba (trial). Parameter PID di sini tidak diset berdasarkan suatu metode, tetapi hanya menebak nilai settingan PID pada penerapannya ke Motor Sinkron. Gambar berikut menunjukkan pemodelan motor sinkron yang dikontrol dengan PID trial. Gambar 9 menunjukkan respon system dengan control PID trial.



Gambar 8. Pemodelan motor sinkron control PID Trial



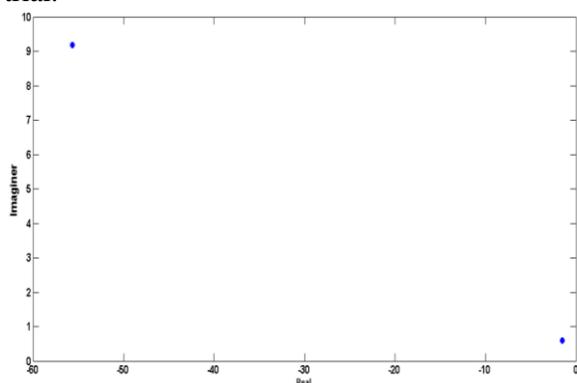
Gambar 9. Respon kecepatan motor sinkron control PID trial

Tabel berikut menunjukkan karakteristik system masing-masing nilai overshoot (Max), nilai mean, dan nilai median.

Tabel 6. Statistik respon system control PID trial

Parameter	Value
Max	30.26
Mean	28.04
Median	30

Gambar berikut menunjukkan analisa eigenvalue saat system dikontrol dengan PID trial.



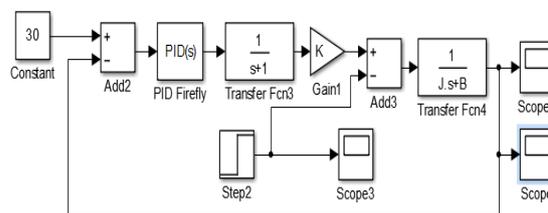
Gambar 10. Eigenvalue motor sinkron control PID trial

Dari hasil simulasi motor sinkron dengan kontroler PID trial, didapatkan respon osilasi kecepatan motor sinkron yang lebih baik dibanding dengan system tanpa kontrol, yaitu sebesar 30.26 dari setpoint sebesar 30. Kemudian settling time yang juga lebih cepat untuk menuju ke kondisi steady state. Kemudian ketika ada perubahan beban pada t=

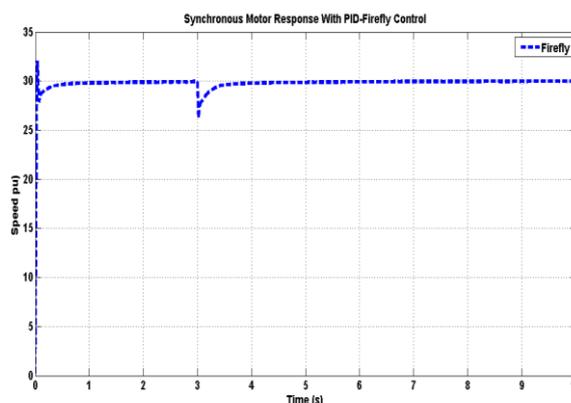
3s, respon motor sudah tidak memiliki osilasi overshoot. Gambar 10 menunjukkan nilai eigenvalue system di mana terdapat dua nilai eigen. Nilai eigen lebih negative menandakan system semakin stabil.

C. Respon Kecepatan Motor Sinkron dengan PID Firefly

Simulasi system yang ketiga adalah system dengan control PID yang dituning menggunakan algoritma cerdas Firefly. Parameter PID di sini dituning berdasarkan metode firefly dengan suatu fungsi tujuan. Algoritma firefly akan encari nilai paling optimal berdasarkan batasan fungsi tujuan dan batasan yang sudah ditentukan. Gambar berikut menunjukkan pemodelan motor sinkron yang dikontrol dengan PID Firefly. Gambar 12 menunjukkan respon system dengan control PID Firefly.



Gambar 11. Pemodelan motor sinkron control PID Firefly



Gambar 12. Respon kecepatan motor sinkron control PID Firefly

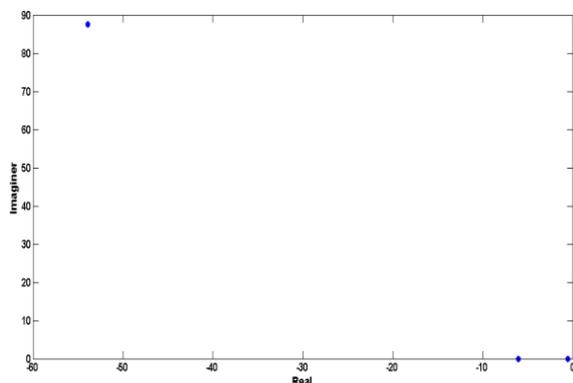
Tabel berikut menunjukkan karakteristik system masing-masing nilai overshoot (Max), nilai mean, dan nilai median.

Tabel 7. Statistik respon system control PID Firefly

Parameter	Value
Max	32.1

Mean	28.99
Median	29.9

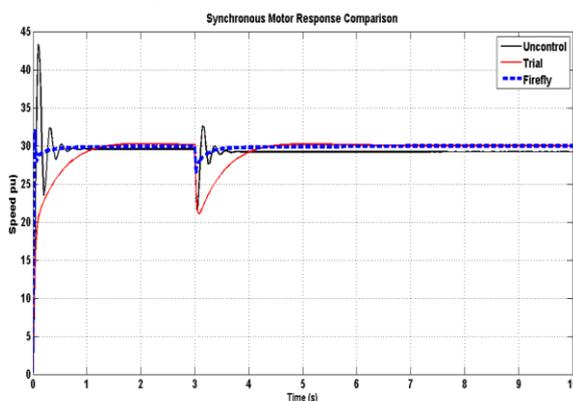
Gambar berikut menunjukkan analisa eigenvalue saat system dikontrol dengan PID trial.



Gambar 13. Eigenvalue motor sinkron control PID Firefly

Dari hasil simulasi motor sinkron dengan kontroler PID Firefly, didapatkan respon osilasi kecepatan motor sinkron yang lebih baik dibanding dengan system tanpa kontrol, yaitu sebesar 32.1 dari setpoint sebesar 30. Hasil overshoot yang didapatkan lebih besar dibanding dengan trial metode, namun dari settling time lebih baik dibanding trial metode. Kemudian ketika ada perubahan beban pada $t=3s$, respon motor sudah tidak memiliki osilasi overshoot, dan osilasi minimum juga lebih baik dibanding dengan trial metode. Gambar 13 menunjukkan nilai eigenvalue system di mana terdapat tiga nilai eigen. Nilai eigen lebih negative menandakan system semakin stabil.

Untuk meninjau respon system keseluruhan, ditampilkan gambar berikut ini.



Gambar 14. Perbandingan respon keseluruhan motor sinkron

Dari beberapa analisa di atas, dapat dilihat besar overhoot, settling time dan

eigenvalue yang semakin membaik. Ini dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode cerdas untuk mengoptimasi parameter PID, hasil yang didapat untuk kinerja PID sangat baik karena menunjukkan respon yang cepat untuk kontrol motor sinkron.

KESIMPULAN

Dengan menggunakan metode cerdas *Firefly Algorithm* sebagai metode penalaan *PID Controller*, didapatkan hasil penalaan parameter nilai *PID* yang optimal, yaitu K_p 0.7417, K_i 0.3588, K_d 0.1.

Overshoot yang dihasilkan masing-masing, tanpa control sebesar 43.33 pu, PID Trial sebesar 30.26 pu, dan PID Firefly sebesar 32.1 pu.

Dari beberapa analisa di atas, dapat dilihat besar overhoot, settling time dan eigenvalue yang semakin membaik. Ini dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode cerdas untuk mengoptimasi parameter PID, hasil yang didapat untuk kinerja PID sangat baik karena menunjukkan respon yang cepat untuk kontrol motor sinkron.

DAFTAR PUSTAKA

- Bansal, U. K., & Narvey, R. Speed control of DC motor using Fuzzy PID controller.
- BAZI, S. (2009). *Contribution à la Commande Robuste d'une Machine Asynchrone par la Technique PSO «Particle Swarm Optimization*. Université de Batna 2.
- Bhushan, B., & Singh, M. (2011). Adaptive control of nonlinear systems using bacterial foraging algorithm. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 3(3), 335.
- Chen, Y., Ma, Y.-j., & Yun, W.-x. (2013). Application of improved genetic algorithm in PID controller parameters optimization. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 11(3), 1524-1530.
- Djalal, M. R., Ajiatmo, D., Imran, A., & Robandi, I. (2015). Desain Optimal Kontroler PID Motor DC Menggunakan Cuckoo Search Algorithm. *SENTIA 2015*, 7(1).
- Fan, X., Cao, J., Yang, H., Dong, X., Liu, C., Gong, Z., & Wu, Q. (2013). *Optimization of PID parameters based on improved particle-swarm-optimization*. Paper presented at the Information Science and Cloud Computing Companion (ISCC-C), 2013 International Conference on.

- Katal, N., & Singh, S. K. (2012). Optimal Tuning of PID Controller for DC Motor using Bio-Inspired Algorithms. *International Journal of Computer Applications*, 56(2).
- Liao, W., Hu, Y., & Wang, H. (2014). *Optimization of PID control for DC motor based on artificial bee colony algorithm*. Paper presented at the Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS), 2014 International Conference on.
- Precup, R.-E., David, R.-C., Petriu, E. M., Preitl, S., & Rădac, M.-B. (2013). Fuzzy logic-based adaptive gravitational search algorithm for optimal tuning of fuzzy-controlled servo systems. *IET Control Theory & Applications*, 7(1), 99-107.
- Ting, L., Xie, G., & Jing, Z. (2008). *The PID parameters tuning based on immune mind evolutionary algorithm*. Paper presented at the Control Conference, 2008. CCC 2008. 27th Chinese.