

BRUSHLESS DC MOTOR SPEED CONTROL USING ANT COLONY OPTIMIZATION

Herman HR^{1*}, Muhammad Ruswandi Djalal²

Teknik Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang

Jalan Perintis Kemerdekaan 10, Makassar 90245

¹hermanhr@gmail.com, ²wandi@poliupg.ac.id

Page | 242

Abstrak—Dibandingkan dengan motor DC, BLDC memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dan kecepatan yang lebih tinggi akibat tidak digunakan nya brush. Pada umumnya motor jenis ini menggunakan sikat dan mengoperasikan nya sangat mudah tinggal dihubungkan dengan sumber DC sehingga motor langsung bekerja. Algoritma Ant Colony pada prinsipnya mencari sumber makanan berdasarkan jejak feromone yang kemudian secara berkelompok akan mengikuti jejak yang memiliki feromone yang terbesar. Dengan prinsip ini algoritma akan mencari parameter yang paling optimal untuk diisikan pada parameter PID, sehingga didapatkan kendali optimal pada kecepatan BLDC Motor. Hasil optimasi ant coloni didapatkan nilai *fitness function* sebesar 79.4892, dengan 50 kali iterasi, dan parameter nilai PID yang optimal di mana, parameter P (Proportional) sebesar 1.3829, I (Integral) sebesar 0.9869, dan D (Derivative) sebesar 0.4360. Dengan beberapa case kecepatan BLDC motor, dengan kendali PID Ant Colony didapatkan kinerja system optimal dengan overshoot yang minimum dan settling yang cepat.

Keywords—PID, Ant Colony, Overshoot, Settling time, BLDC Motor

Abstrak— Compared to DC motors, BLDC has a lower maintenance cost and higher speed due to not using brushes. In general, this type of motor uses a brush and operates it is very easy to stay connected with a DC source so that the motor works directly. The Ant Colony algorithm in principle searches for food sources based on traces of feromone which then in groups will follow the footsteps that have the largest feromone. With this principle the algorithm will look for the most optimal parameters to be filled in the PID parameters, so that optimal control is obtained at the BLDC Motor speed. The results of the ant colony optimization obtained a fitness function value of 79.4892, with 50 iterations, and the optimal PID value parameter where, the P (Proportional) parameter is 1.3829, I (Integral) of 0.9869, and D (Derivative) of 0.4360. With some cases of BLDC motor speeds, with the PID Ant Colony control, optimal system performance is achieved with minimum overshoot and fast settling.

Keywords—PID, Ant Colony, Overshoot, Settling time, BLDC Motor

I. PENDAHULUAN

Penggunaan kontrol berbasis Proportional Integral Derivative (PID) pada kontrol proses sudah semakin banyak, karena keandalan dan strukturnya sederhana dan stabilitas yang baik. PID banyak digunakan bersama dengan BLDC Motor dalam aplikasi industri. Namun pada penerapannya penyesuaian parameter PID menjadi kompleks dan dibeberapa tahun terakhir telah banyak metode untuk penalaan parameter PID. Dalam aplikasinya secara sederhana, digunakan metode penalaan trial-error untuk menyesuaikan nilai PID, namun untuk metode ini sulit untuk mendapatkan nilai optimal sehingga sulit untuk menyesuaikan parameter, serta dibutuhkan waktu yang lama [1], dan juga akurasi kontrol tidak baik.

Dalam beberapa tahun terakhir, para peneliti telah banyak menggunakan metode cerdas (*Artificial Intelligent*) untuk penentuan parameter PID dari BLDC Motor. Para peneliti mulai mempelajari perilaku cerdas dari hewan, dan diterapkan untuk diaplikasikan menyelesaikan permasalahan optimasi, terkhusus pada bidang kontrol. Hewan tersebut diantaranya lebah,

semut, tawon dan menemukan suatu algoritma perilaku dari kebiasaan atau perilaku dari hewan tersebut.

Ant-Colony Optimization termasuk dalam kelompok Swarm Intelligence, yang merupakan salah satu jenis pengembangan paradigma yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi dimana inspirasi yang digunakan untuk memecahkan masalah tersebut berasal dari perilaku kumpulan atau kawanan (swarm) serangga [2]. Setiap semut dalam kawanan yang berjalan akan meninggalkan pheromone (semacam zat kimia) pada jalur yang dilaluinya. Pheromone ini menjadi semacam sinyal bagi sesama semut. Jalur yang pendek akan menyisakan sinyal yang lebih kuat. Semut berikutnya, pada saat memutuskan jalur mana yang harus dipilih, biasanya akan cenderung memilih untuk mengikuti jalur dengan sinyal yang paling kuat, sehingga jalur terpendek akan ditemui karena lebih banyak semut yang akan melewati jalur tersebut. Semakin banyak semut yang lewat suatu jalur, semakin kuat sinyal di jalur itu. Penggunaan metode ACO juga digunakan pada penelitian ini sebagai metode untuk menala parameter PID.

Beberapa metode optimasi berbasis metode konvensional maupun metode cerdas telah banyak digunakan untuk mengoptimasi parameter PID BLDC Motor, diantaranya Particle Swarm Optimization [3, 4], Bacterial Foraging [5], Fuzzy Logic [6]. Sebelumnya juga telah banyak penelitian penalaan kontrol PID dengan metode cerdas pada motor dc dengan menggunakan beberapa metode cerdas seperti Cuckoo Search, Particle Swarm, Neural Network, Firefly dan Flower Pollination, diantaranya [1, 7-13]

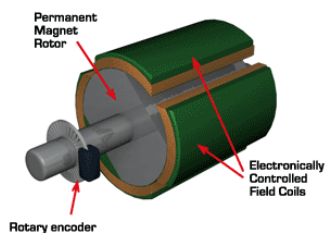
Pada penelitian ini akan digunakan salah satu metode cerdas (*Artificial Intelligent*) lain untuk menala parameter PID BLDC Motor yaitu dengan metode *Ant Colony Optimization (ACO)* dan akan dianalisa dan dibandingkan respon kecepatan BLDC Motor dengan metode konvensional PID trial-error serta BLDC Motor tanpa kontroler.

II. BLDC MOTOR

Motor arus searah adalah sebuah motor yang membutuhkan tegangan searah untuk menjalankannya. Pada umumnya motor jenis ini menggunakan sikat dan mengoperasikannya sangat mudah tinggal dihubungkan dengan sumber DC sehingga motor langsung bekerja. Jenis motor ini memerlukan perawatan pada sikatnya serta banyak terjadi rugi tegangan pada sikat. Sehingga pada era sekarang ini motor DC dikembangkan tanpa menggunakan sikat yang dikenal dengan Motor BLDC (Brushless Direct Current Motor).

Dibandingkan dengan motor DC, BLDC memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dan kecepatan yang lebih tinggi akibat tidak digunakannya brush. Brushless DC Motor termasuk kedalam jenis motor sinkron. Artinya medan magnet yang dihasilkan oleh stator dan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor berputar pada frekuensi yang sama. Motor BLDC tidak mengalami slip seperti yang terjadi pada motor induksi biasa. Motor jenis ini mempunyai magnet permanen pada bagian rotor dan elektromagnet pada bagian stator. Setelah itu, dengan menggunakan sebuah rangkaian sederhana (simple computer system), maka kita dapat merubah arus di elektromagnet ketika bagian rotornya berputar.

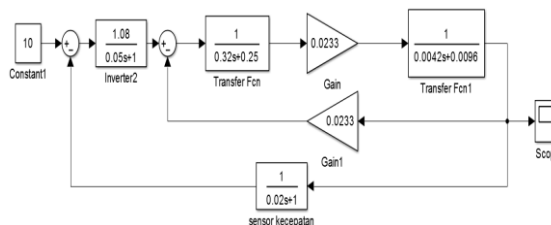
Walaupun merupakan motor listrik sinkron AC 3 fase, motor ini tetap disebut dengan BLDC karena pada implementasinya BLDC menggunakan sumber DC sebagai sumber energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan inverter 3 fase.



Gbr 1. BLDC Motor [14]

A. Pemodelan BLDC Motor

Pemodelan BLDC Motor yang digunakan mengacu pada sebuah paper yang di mana menggunakan pemodelan transfer function. BLDC Motor yang digunakan di sini adalah menggunakan BLDC Motor magnet permanen [15].



Gbr 2. Pemodelan BLDC Motor di Simulink

B. Pemodelan Kontroler PID

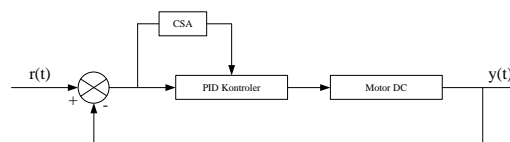
Kontrol PID adalah salah satu kontrol yang sudah banyak digunakan pada aplikasi industri karena strukturnya yang sederhana [1].

$$u(t) = k_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de}{dt}] \quad (3)$$

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 diferensial time konstan. Fungsi dari ketiga elemen tersebut adalah :

- Proporsional: menggambarkan sinyal deviasi $e(t)$ dari sistem kontrol proporsional. ketika sinyal $e(t)$ ada, controller 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 mengkonfigurasi ke tiga parameter PID (K_p , K_i , K_d). Dalam penelitian ini, *Ant Colony* diusulkan untuk mencari parameter optimal PID. Blok diagram sistem kontrol ditunjukkan pada gambar 3.



Gbr 3. Sistem Kontroler PID

III. METODE PENELITIAN

Ant Colony Optimization

A. Penentuan Jarak Antar Kota

Kota yang dimaksud di sini adalah besarnya nilai pembangkitan dari masing-masing pembangkit. Sebelum dilakukan perjalanan, jarak antara nilai dari pembangkit pembangkit yang satu dengan pembangkit yang lainnya dihitung terlebih dahulu (diinisialisasi). Setelah dilakukan inisialisasi, maka semut diletakkan di kota pertama tertentu secara acak. Kemudian semut akan melanjutkan perjalanannya dari satu kota ke kota yang lainnya secara acak sampai ke tujuan akhir, yaitu kota terakhir. Setelah perjalanan selesai, lokasi kota-kota yang telah dilalui oleh semut akan digunakan untuk menghitung solusi yang dihasilkan dari perjalanan tersebut.

B. Perjalanan Semut

Semut memilih suatu jalur yang akan dilalui mulai dari titik r menuju ke titik s dalam suatu perjalanan dengan probabilitas :

$$p(r,s) = \frac{\gamma(r,s)}{\sum_t \gamma(r,t)} \quad s, l \in N_r^k \quad (1)$$

matrix $\gamma(r,s)$ merepresentasikan jumlah intensitas feromon antara titik r dan s . Kemudian feromon akan diperbaharui melalui persamaan berikut :

$$\gamma(r,s) = \alpha \cdot \gamma(r,s) + \Delta\gamma^k(r,s) \quad (2)$$

dimana α dengan interval $0 < \alpha < 1$ merupakan daya tahan suatu feromon, maka $(1 - \alpha)$ merepresentasikan penguapan yang terjadi pada feromon dan $\Delta\gamma^k(r,s)$ merupakan jumlah feromon yang semut k jatuhkan pada jalur (r,s) .

Perbaharui Feromon Lokal

Jejak feromon (r,s) untuk perjalanan terbaik yang telah dilakukan semut (semut yang menghasilkan parameter optimal PID) akan diperbaharui dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\gamma(r,s) = \alpha \cdot \gamma(r,s) + \frac{Q}{f_{best}} \quad r, s \in J_{best}^k \quad (3)$$

dengan Q merupakan sebuah konstanta positif yang sangat besar nilainya.

C. Perbaharui Feromon Global

Untuk menghindari terjadinya stagnan (suatu situasi dimana semut akan mengikuti jalur yang sama, yang mana akan menghasilkan solusi yang sama), maka kekuatan jejak feromon dibatasi pada interval berikut :

$$\gamma(r,s) = \begin{cases} \tau_{min} & \text{if } \gamma(r,s) \leq \tau_{min} \\ \tau_{max} & \text{if } \gamma(r,s) \geq \tau_{max} \end{cases} \quad (4)$$

Batasan atas dan batas bawahnya adalah sebagai berikut :

$$\tau_{max} = \frac{1}{\alpha \cdot f_{best}} \quad (5)$$

$$\tau_{min} = \frac{\tau_{max}}{M^2} \quad (6)$$

dengan M adalah jumlah semut yang melakukan perjalanan.

D. Plot Perjalanan Semut

Solusi dari perjalanan koloni semut dalam optimasi parameter PID diplot ke dalam sebuah grafik sampai batas maksimum iterasi.

E. Plot Perjalanan Terbaik

Perjalanan dengan solusi terbaik dari koloni semut (parameter optimal PID) untuk setiap iterasi diplot sampai batas iterasi maksimum.

F. Flowchart Ant Colony Optimization

Diagram alir (*flowchart*) dari metode *Ant Colony Optimization* yang digunakan untuk mencari parameter optimal PID ditunjukkan pada gambar 5.

G. Parameter Ant Colony Optimization

Beberapa parameter yang digunakan pada metode *Ant Colony Optimization* pada tesis ini adalah sebagai berikut:

- Jumlah semut = 10
- Iterasi maksimum = 50
- Ketahanan feromon(alpha) = 0.9

H. Inisialisasi Feromon (Matriks Tau)

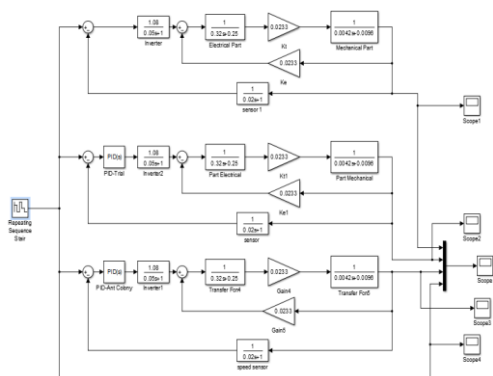
Matriks tau ini memiliki ukuran $n \times m$, dengan n adalah banyaknya controller pada sistem, sedangkan m adalah banyaknya parameter PID dengan skala 0 sampai dengan 1 yang memiliki interval 0,01. Nilai dari matriks ini akan diperbaharui setiap dilakukan perjalanan oleh koloni semut.

I. Penalaan Kontrol PID dengan Ant Colony

Gambar 4 menunjukkan diagram alir algoritma metode *Ant Colony* 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 *Ant Colony* adalah K_p , K_i dan K_d . Adapun untuk diagram alir proses penalaan parameter PID dengan menggunakan metode *Ant Colony* ditunjukkan oleh *flowchart* pada Gambar 5 dan gambar 4 menunjukkan pemodelan BLDC Motor pada Simulink Matlab 2013, tanpa kontrol, dengan PID Trial dan PID *Ant Colony*.

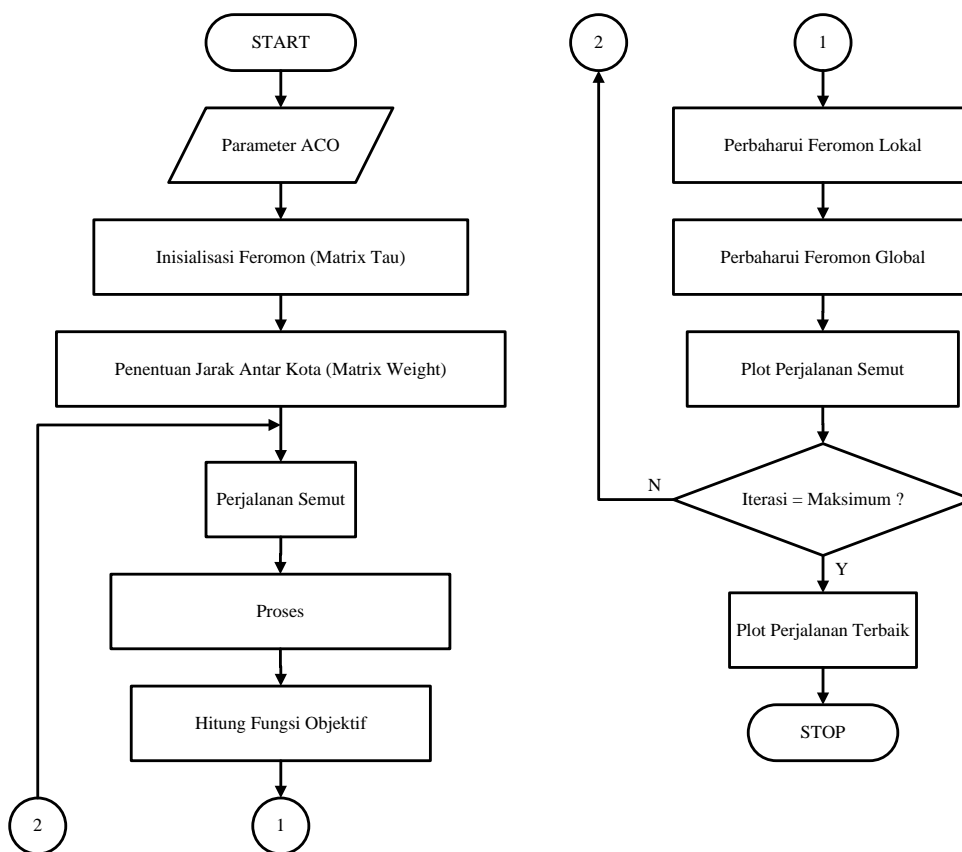


Gbr 4. Pemodelan BLDC Motor di Simulink

Untuk menjalankan algoritma Ant Colony dibutuhkan beberapa parameter, yang disebutkan pada table berikut ini. Algoritma ant colony dibuat menggunakan software Matlab (m.files) dan pemodelan motor menggunakan Simulink Matlab. Adapun data parameter-parameter ant colony adalah berikut.

TABEL I
PARAMETER ANT COLONY

Parameters	Values
Number of Ants	6
Max Iteration	50
Feromone (Alpha)	0.9
Beta	2

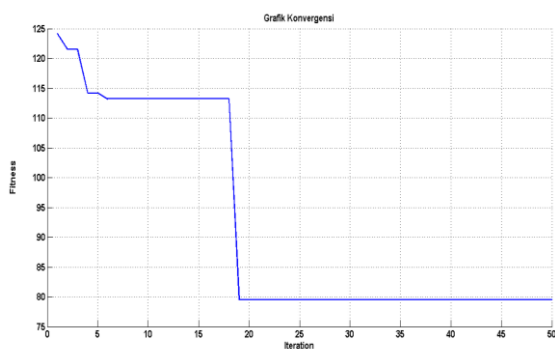


Gbr 5. Flowchart Ant Colony BLDC Motor

Setelah memasukkan beberapa parameter tersebut di table di atas, maka selanjutnya algoritma ant colony dijalankan untuk optimasi nilai PID dari controller. Nilai yang tepat akan sangat mempengaruhi kinerja respon BLDC Motor yang didesain pada penelitian ini. Algoritma ant colony membutuhkan proses perhitungan sampai menemukan nilai yang optimal. Gambar berikut menunjukkan grafik konvergensi optimasi nilai PID menggunakan algoritma ant colony. Konvergensi adalah suatu nilai fitness function yang menjabarkan kriteria optimal dari suatu masalah optimasi.

Gambar 6 menunjukkan grafik konvergensi optimasi nilai PID menggunakan ant colony, di mana

berdasarkan grafik terlihat algoritma ant colony tidak membutuhkan waktu yang lama dalam melakukan proses optimasi, hal tersebut terlihat pada iterasi ke 19 algoritma sudah menemukan nilai PID yang optimal dengan nilai fitness sebesar 79.4892. Untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada table berikut ini.



Gbr 6. Grafik Konvergensi Optimasi Kontrol PID BLDC Motor dengan Ant Colony Optimization (ACO)

TABEL II
HASIL OPTIMASI DENGAN ACO

Total number of iterations=50
fmin = 79.4892
T_best = 1.3829 0.9869 0.4360
kp_ant = 1.3829
ki_ant = 0.9869
kd_ant = 0.4360

Hasil optimasi ant colony didapatkan nilai *fitness function* sebesar 79.4892, dengan 50 kali iterasi, nilai nbest merupakan ant colony terbaik, yang di mana diketahui sebagai hasil optimasi parameter PID, yaitu Kp, Ki dan Kd. Tabel 4 menunjukkan nilai hasil optimasi parameter PID ditala oleh ant colony. Sebagai pembandingan digunakan kendali PID yang dituning dengan cara trial error atau coba-coba. Algoritma Ant Coloni pada prinsipnya mencari sumber makanan berdasarkan jejak feromone yang kemudian secara berkelompok akan mengikuti jejak yang memiliki feromone yang terbesar. Dengan prinsip ini algoritma akan mencari parameter yang paling optimal untuk diisikan pada parameter PID, sehingga didapatkan kendali optimal pada kecepatan BLDC Motor.

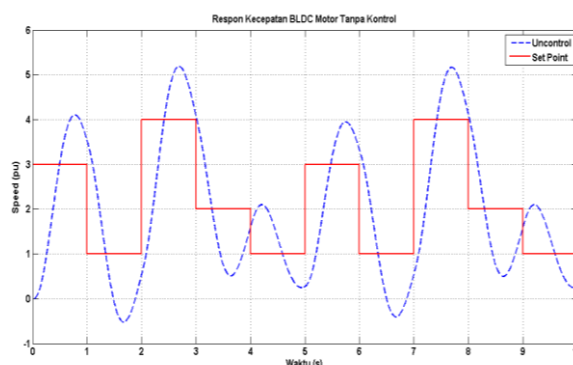
TABEL III
HASIL PENALAAAN PARAMETER PID

Param.	Trial Error	Ant Colony
Kp	2.2924	1.3829
Ki	2.0008	0.9869
Kd	0.3618	0.4360

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

A. Respon Kecepatan BLDC Motor tanpa Kontrol

Analisa pertama dimulai dengan melihat kinerja BLDC motor tanpa kontrol. Berikut hasil simulasi dengan menggunakan Matlab. Dengan beberapa variasi perubahan kecepatan motor, akan dilihat respon motor dalam mentracking set point yang diberikan.



Gbr 7. Respon Kecepatan BLDC Motor tanpa kontrol, untuk t=10s.

Gambar 7 menunjukkan hasil simulasi tanpa kontroler dengan $t=10s$, didapatkan respon kecepatan BLDC motor yang sangat lambat, bahkan tidak mencapai set point yang sudah ditentukan. Hal ini dikarenakan sistem tidak mempunyai controller kecepatan. Hasil simulasi system tanpa kontrol ini dijadikan acuan untuk mendesain kendali motor berbasis PID yang dituning dengan algoritma cerdas menggunakan Ant Colony Optimization, dan sebagai pembandingan digunakan metode PID yang ditune secara trial-error/coba-coba. Berikut hasil simulasi kontrol BLDC motor tanpa kontrol.

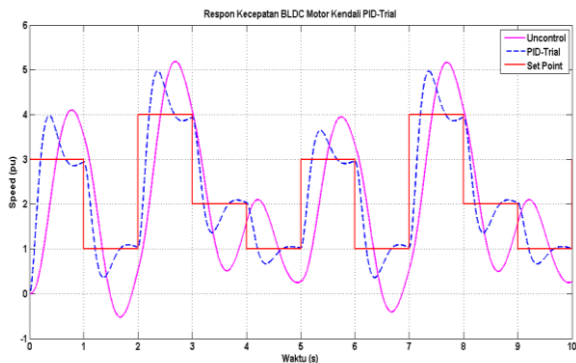
TABEL IV
RESPON OVERSHOOT SISTEM

Case Speed (pu)	Overshoot (pu)
3	4.1
1	-0.5
4	5.1
2	0.5
1	0.2

Table 4 menunjukkan respon overshoot kecepatan BLDC motor, di mana digunakan 5 variasi set point. Case pertama variasi kecepatan sebesar 3pu, respon motor mengalami overshoot maksimum hingga 4.1pu. Case kedua kecepatan diturunkan ke 1pu, respon motor mengalami overshoot minimum sebesar -0.5pu. Case ketiga kecepatan dinaikkan ke 4pu, respon motor mengalami overshoot hingga 5.1pu. Case keempat kecepatan diturunkan sebesar 2pu, respon motor mengalami overshoot minimum sebesar 0.5pu. Case kelima kecepatan motor diturunkan menjadi 1pu, respon motor mengalami overshoot minimum sebesar 0.2pu. Selain overshoot, kinerja system juga dapat ditinjau dari kriteria settling time, di mana menunjukkan settling time yang lama untuk masing-masing variasi kecepatan untuk mencapai kondisi yang sama dengan set point yang diberikan.

B. Respon Kecepatan BLDC Motor dengan Kendali PID Trial Error

Analisa berikutnya, melihat kinerja respon kecepatan BLDC Motor dengan pemasangan kontrol PID, di mana parameter PID di tuning menggunakan cara trial error, berikut hasil simulasinya.



Gbr 8. Respon Kecepatan BLDC Motor dengan PID Trial, t=10s

Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi dengan kontroler PID yang ditune dengan trial error, dengan t=10s. Dari desain tersebut didapatkan respon kecepatan BLDC motor yang membaik dibanding dengan system tanpa kontrol, ditunjukkan dengan overshoot yang berkurang. Berikut hasil simulasi kontrol BLDC motor dengan PID trial error.

TABEL V.
RESPON OVERSHOOT SISTEM

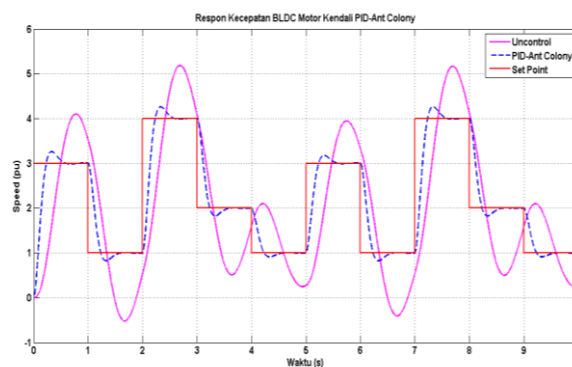
Case Speed (pu)	Overshoot (pu)
3	3.9
1	0.4
4	5
2	1.5
1	0.7

Table 5 menunjukkan respon overshoot kecepatan BLDC motor dengan kontrol PID yang dituning dengan cara trial error. Case pertama variasi kecepatan sebesar 3pu, respon motor mengalami overshoot maksimum hingga 3.9pu. Case kedua kecepatan diturunkan ke 1pu, respon motor mengalami overshoot minimum sebesar 0.4pu. Case ketiga kecepatan dinaikkan ke 4pu, respon motor mengalami overshoot hingga 5pu. Case keempat kecepatan diturunkan sebesar 2pu, respon motor mengalami overshoot minimum sebesar 1.5pu. Case kelima kecepatan motor diturunkan menjadi 1pu, respon motor mengalami overshoot minimum sebesar 0.7pu. Kinerja BLDC motor pada system ini lebih baik dibanding dengan system tanpa kontrol. Ditunjukkan dengan semakin berkurangnya overshoot kecepatan dan settling time yang semakin cepat untuk mencapai ke kondisi set point.

Namun kinerja PID pada system ini masih bisa dioptimalkan dengan penalaan yang tepat. Pada metode ini parameter P (Proportional) sebesar 2.2924, I (Integral) sebesar 2.0008, dan D (Derivative) sebesar 0.3618. Parameter ini pada prinsipnya belum optimal dikarenakan kinerja system masih terdapat error dari set point yang sudah ditentukan.

C. Respon Kecepatan BLDC Motor dengan PID Ant Colony Optimization

Simulasi berikutnya adalah kontrol BLDC Motor dengan menggunakan PID yang dituning menggunakan algoritma ACO, berikut hasil simulasinya.



Gbr 9. Respon Kecepatan BLDC Motor dengan PID Ant-Colony, t=10s

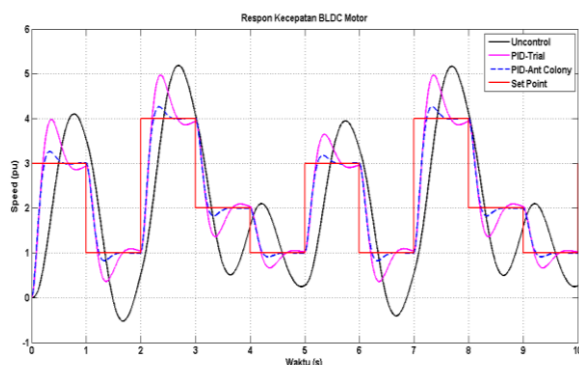
Gambar 9 menunjukkan hasil simulasi dengan kontroler PID yang ditune dengan metode cerdas ant colony, dengan t=10s. Dari desain tersebut didapatkan respon kecepatan BLDC motor yang sempurna dibanding dengan system tanpa kontrol dan kontrol PID trial error, hal ini ditunjukkan dengan overshoot yang berkurang. Berikut hasil simulasi kontrol BLDC motor dengan PID Ant Colony.

TABEL VI.
RESPON OVERSHOOT SISTEM

Case Speed (pu)	Overshoot (pu)
3	3.3
1	0.8
4	4.3
2	1.7
1	0.9

Table 6 menunjukkan respon overshoot kecepatan BLDC motor dengan kontrol PID yang dituning dengan metode ant colony. Case pertama variasi kecepatan sebesar 3pu, respon motor mengalami overshoot maksimum hingga 3.3pu. Case kedua kecepatan diturunkan ke 1pu, respon motor mengalami overshoot minimum sebesar 0.8pu. Case

ketiga kecepatan dinaikkan ke 4pu, respon motor mengalami overshoot hingga 4.3pu. Case keempat kecepatan diturunkan sebesar 2pu, respon motor mengalami overshoot minimum sebesar 1.7pu. Case kelima kecepatan motor diturunkan menjadi 1pu, respon motor mengalami overshoot minimum sebesar 0.9pu. Kinerja BLDC motor pada system ini lebih baik dibanding dengan system tanpa kontrol dan PID trial error. Ditunjukkan dengan semakin berkurangnya overshoot kecepatan dan settling time yang semakin cepat untuk mencapai ke kondisi set point.



Gbr 10. Perbandingan respon Kecepatan BLDC Motor dengan PID Ant-Colony, t=10s

Algoritma Ant Colony pada prinsipnya mencari sumber makanan berdasarkan jejak feromone yang kemudian secara berkelompok akan mengikuti jejak yang memiliki feromone yang terbesar. Dengan prinsip ini algoritma akan mencari parameter yang paling optimal untuk diisikan pada parameter PID, sehingga didapatkan kendali optimal pada kecepatan BLDC Motor. Pada hasil penalaan metode cerdas, didapatkan parameter PID yang optimal, parameter P (Proportional) sebesar 1.3829, I (Integral) sebesar 0.9869, dan D (Derivative) sebesar 0.4360. Dengan kombinasi parameter yang optimal ini didapatkan kinerja respon kecepatan BLDC Motor yang optimal, ditandai dengan respon settling time kecepatan motor yang cepat dibanding dengan metode PID trial dan system tanpa kontrol.

Aplikasi BLDC Motor sangat banyak digunakan dengan kombinasi kendali PID, sehingga dibutuhkan desain kontroler BLDC Motor yang tepat, dalam hal ini sangat diusulkan untuk menggunakan kontroler PID karena sangat simple untuk pengontrolan sistem dengan penalaan parameter menggunakan metode cerdas yang tepat akan didapatkan kinerja yang baik.

V. KESIMPULAN

Algoritma Ant Coloni pada prinsipnya mencari sumber makanan berdasarkan jejak feromone yang kemudian secara berkelompok akan mengikuti jejak yang memiliki feromone yang terbesar. Dengan

prinsip ini algoritma akan mencari parameter yang paling optimal untuk diisikan pada parameter PID, sehingga didapatkan kendali optimal pada kecepatan BLDC Motor.

Hasil optimasi ant colony didapatkan nilai *fitness function* sebesar 79.4892, dengan 50 kali iterasi, dan parameter nilai *PID* yang optimal di mana, parameter P (Proportional) sebesar 1.3829, I (Integral) sebesar 0.9869, dan D (Derivative) sebesar 0.4360.

Dengan beberapa case kecepatan BLDC motor, dengan kendali PID Ant Colony didapatkan kinerja system optimal dengan overshoot yang minimum dan settling yang cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. R. Djalal, D. Ajiatmo, A. Imran, and I. Robandi, "Desain Optimal Kontroler PID Motor DC Menggunakan Cuckoo Search Algorithm," *SENTIA 2015*, vol. 7, 2015.
- [2] Q. Aliklas, N. Satyahadewi, and H. Perdana, "PENERAPAN ALGORITMA MAX-MIN ANT SYSTEM DALAM PENYUSUNAN JADWAL MATA KULIAH DI JURUSAN MATEMATIKA FMIPA UNTAN," *BIMASTER*, vol. 8.
- [3] J. Bichagatti, "Optimal PID control of a brushless DC motor using PSO technique."
- [4] V. K. S. Patel and A. Pandey, "Modeling and performance analysis of PID controlled BLDC motor and different schemes of PWM controlled BLDC motor," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 3, pp. 1-14.
- [5] H. Ibrahim, F. Hassan, and A. O. Shomer, "Optimal PID control of a brushless DC motor using PSO and BF techniques," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 5, pp. 391-398, 2014.
- [6] K. Premkumar and B. Manikandan, "Fuzzy PID supervised online ANFIS based speed controller for brushless dc motor," *Neurocomputing*, vol. 157, pp. 76-90, 2015.
- [7] M. R. Djalal, M. Y. Yunus, A. Imran, and H. Setiadi, "FLOWER POLLINATION ALGORITHM UNTUK OPTIMASI PENGENDALI PID PADA PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI," *JETri Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, pp. 81-100, 2017.
- [8] L. Dwi, R. D. Muhammad, W. Widodo, and R. Imam, "Optimization of PID Controller Design for DC Motor Based on Flower Pollination Algorithm," 2016.
- [9] M. R. Djalal, H. Nurohmah, A. Imran, and M. Y. Yunus, "Aplikasi Metode Cerdas untuk Optimasi Controller PID Motor DC Berbasis Firefly Algorithm," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 6, pp. 76-83, 2017.
- [10] M. R. Djalal and R. Rahmat, "OPTIMISASI KONTROL PID UNTUK MOTOR DC MAGNET PERMANEN MENGGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION," *Jurnal TAM (Technology Acceptance Model)*, vol. 8, pp. 117-122, 2017.
- [11] A. Asri, M. R. Djalal, and R. Rahmat, "DESAIN OPTIMAL KONTROLER PROPORSIONAL INTEGRAL MOTOR DC MENGGUNAKAN ALGORITME PARTICLE SWARM OPTIMIZATION," *JETri Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 15, pp. 155-170, 2018.
- [12] M. R. Djalal, A. Pangkung, M. Marhatang, and S. Sonong, "FIELD-ORIENTED CONTROL PERMANENT MAGNET MOTOR SINKRON

MENGGUNAKAN ALGORITMA KUNANG-KUNANG," *Jurnal Teknologi*, vol. 10, pp. 153-160, 2018.

- [13] M. R. Djalal, "Modifikasi Desain PID Controller Pada Permanent Magnet Synchronous Motor Dengan Flower Pollination Algorithm."
- [14] Sarjana. (2016). *PENGERTIAN BRUSHLESS DC MOTOR*. Available: <https://onexperience.wordpress.com/2016/09/04/first-blog-post/>
- [15] O. Oguntoyinbo, "PID control of brushless DC motor and robot trajectory planning simulation with MATLAB®/SIMULINK®," 2009.