

Optimasi Dual Axis Tracking Untuk Photovoltaic Berbasis Firefly Algorithm dan Ant Colony Optimization

¹Ari Octaviyan, ²Hofman Darmawan, ³Hidayatul Nurohmah, ⁴Machrus Ali, ⁵Ruslin

^{1,2,3,4,5} Jurusan Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum, Jombang

¹ Arioktavian92@gmail.com, ² hofmandarmawan@gmail.com, ³ hidayatul.nurohmah.mt@gmail.com,

⁴ machrus7@gmail.com, ⁵ rukslin@gmail.com

Abstrak — Sistem kendali tracking matahari adalah sistem kendali yang selalu mengikuti posisi matahari. Tracking matahari jenis azimuth-elevation terdiri dari sumbu putar horizontal dan sumbu putar vertikal. Sumbu putar horizontal pada tracking matahari dimaksudkan untuk mengikuti ketinggian matahari atau sudut elevasi atau altitude matahari dari utara ke selatan. Sumbu putar vertikal pada tracking matahari dimaksudkan untuk mengikutti sudut azimuth matahari dari timur ke barat. Tujuan dari sistem tracking matahari ini adalah untuk menempatkan penampang agar selalu dalam posisi menghadap ke arah sinar matahari. Dibutuhkan optimasi kontrol agar posisi tepat sesuai yang diinginkan. Untuk optimasi sering digunakan kecerdasan buatan agar diperoleh optimasi terbaik secara otomatis. Diantara kecerdasan buatan itu adalah Firefly Algorithm (FA) dan Ant Colony Optimization (ACO). Penelitian ini membandingkan beberapa metode, yaitu tanpa control, Kontrol PID, PID-FA, dan PID-ACO. Dari hasil simulasi didapatkan penyimpangan sudut secara vertical terkecil pada kontroler PID-ACO sebesar -0.0007pu dan horizontal terkecil pada kontroler PID-ACO sebesar -0.0005pu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa PID-ACO merupakan kontroler terbaik pada penelitian ini. Penelitian ini nanti bisa dipakai sebagai acuan dan digunakan kontroler lain agar diperoleh kontroler yang optimal.

Kata Kunci – ACO, Dual Axis, FA, Solar Tracker, Photovoltaic

Abstract - Sun tracking control system is a control system that always follows the position of the sun. The azimuth-elevation solar tracking consists of a horizontal swivel axis and a vertical swivel axis. The horizontal swivel axis on the sun tracking is intended to follow the height of the sun or the elevation angle or altitude of the sun from north to south. The vertical axis of the sun tracking is intended to follow the azimuth angle of the sun from east to west. The purpose of this sun tracking system is to place the cross-section so that it is always in a position facing towards the sunlight. It takes optimization of control to position exactly as desired. For optimization is often used artificial intelligence in order to obtain the best optimization automatically. Between the artificial intelligence is Firefly Algorithm (FA) and Ant Colony Optimization (ACO). This study compared several methods, ie without control, PID Control, PID-FA, and PID-ACO. From the simulation results obtained the smallest vertical angle deviation on the PID-ACO controller of -0.0007pu and the smallest horizontal on the PID-ACO controller

of -0.0005pu. So it can be concluded that PID-ACO is the best controller in this research. This research can later be used as a reference and used other controllers to obtain optimal controller.

Keywords - ACO, Dual Axis, FA, Solar Tracking, Photovoltaic

I. PENDAHULUAN

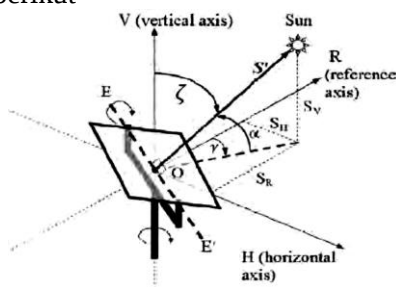
Energi matahari merupakan salah satu sumber alternatif untuk menggantikan sumber energi fosil. Energi matahari mungkin akan menjadi sumber energi utama di masa depan karena dapat menjawab isu-isu lingkungan seperti pemanasan global, tetapi sumber energi matahari belum dimanfaatkan secara optimal. sedangkan di sisi lain ada sebagian wilayah Indonesia yang belum teraliri listrik karena tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN, sehingga Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sistemnya yang modular dan mudah dipindahkan merupakan salah satu solusi yang dapat dipertimbangkan sebagai salah satu pembangkit listrik alternatif[1]. Potensi tenaga surya di Indonesia cukup tinggi dengan intensitas 4,8 kWh/m² per hari dengan pemanfaatan baru sebesar 42,78 MW. Salah satu upaya untuk meningkatkan efisiensi panel surya yaitu dengan menambahkan sistem kendali *tracking* matahari. Sistem kendali *tracking* matahari adalah sistem kendali yang selalu mengikuti posisi matahari[2]. Tujuan dari sistem *tracking* matahari ini adalah untuk menempatkan penampang agar selalu dalam posisi menghadap ke arah sinar matahari, sehingga jika ditempatkan panel surya diatasnya, energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya menjadi maksimal, penelitian menghitung peningkatan efisiensi dalam satu tahun pada *Azimuth-Altitude Dual Axis Solar*

Tracker dibanding tanpa sistem *tracking* matahari adalah sebesar 48,98%, dan efisiensi meningkat 36,504% dalam satu tahun bila dibandingkan dengan *Single Axis Solar Tracker*[3]. Sudut elevasi adalah sudut ketinggian matahari diukur dari arah horizontal. Pada saat matahari terbit atau matahari terbenam nilai sudut elevasi adalah nol derajat. Nilai maksimal sudut elevasi adalah 900 pada saat posisi matahari tepat diatas kepala. Sudut azimuth matahari adalah posisi sudut matahari diukur dari arah utara bumi. Nilai sudut azimuth matahari 00 di arah utara, 900 di arah timur, 1800 di arah selatan, dan 2700 di arah barat. Saat ini Artificial Intelegent (AI) sering digunakan untuk mengembangkan berbagai keilmuan diantaranya sebagai kontrol mikrohidro[4], sebagai kontrol kecepatan motor DC[5], control steer kendaraan[6], sebagai kontrol sudu turbin angin [7]. Diantaranya juga menggunakan metode Ant Colony Optimization (ACO)[8][9][10] dan Firefly Algorithm (FA)[11][12][13][14]. Sebelumnya telah diteliti dengan menggunakan Particle Swarm Optimization PSO sebagai[15]. Maka pada penelitian ini digunakan kecerdasan buatan ACO dan FA sebagai tuning PID Controller.

II. PHOTOVOLTAIC

A. Dual Axis Tracking

Tracking matahari jenis *azimuth-elevation* terdiri dari sumbu putar horisontal dan sumbu putar vertikal. Sumbu putar horisontal pada *tracking* matahari dimaksudkan untuk mengikuti ketinggian matahari atau sudut *elevasi* atau *altitude* (α) matahari yang di ukur dari utara ke selatan. Sedangkan sumbu putar vertikal pada *tracking* matahari dimaksudkan untuk mengikutti sudut *azimuth* (γ) matahari yang di ukur dari timur ke barat. *Photovoltaic Dual Axis Tracking* ditunjukkan dalam Gambar 1 berikut



Gambar 1 *Tracking* Matahari Dua Sumbu.

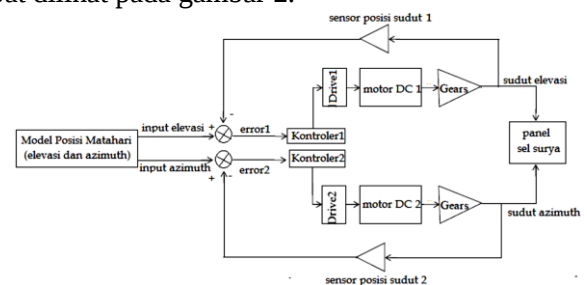
Berdasarkan Gambar 1 diatas, sumbu referensi *tracking* matahari R adalah arah utara 0° . Posisi matahari dapat direpresentasikan dalam dua sudut yaitu sudut *elevasi* (α) dan sudut *azimuth* (γ). Sudut *azimuth* adalah arah kompas sinar matahari yang diukur dari arah utara (0°) berputar searah jarum jam. Pada *ekuinox*, matahari terbit tepat dari arah timur dan terbenam tepat di barat terlepas dari letak lintang, sehingga membuat *azimut* sudut 90° saat matahari terbit dan 270° saat matahari terbenam.

$$y = \arccos \left\{ \frac{\sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos HRA}{\cos \alpha} \right\} \quad (1)$$

Sudut *elevasi* (sudut ketinggian) adalah ketinggian sudut matahari di langit diukur dari horisontal. Saat matahari terbit sudut *elevasi* adalah 0° dan 90° ketika matahari tepat di atas kepala, sudut *elevasi* bervariasi sepanjang hari, tergantung pada garis lintang dari lokasi tertentu dan hari dalam setahun. Ketinggian α dapat ditemukan dengan menggunakan rumus.

$$\alpha = \arcsin (\sin \delta \sin \varphi - \cos \delta \cos \varphi \cos (HRA)) \quad (2)$$

Secara umum distem penjejak matahari diklasifikasikan menjadi dua, yaitu penjejak matahari satu sumbu dan penjejak matahari dua sumbu. Penjejak matahari satu sumbu dibedakan jadi tiga, yaitu penjejak matahari sumbu horizontal, penjejak matahari sumbu vertikal, dan tilted-axis tracker. Sedangkan Penjejak matahari dua sumbu dibedakan menjadi dua, yaitu azimuth-elevation tracker dan tilt-roll (or polar) tracker. Untuk mensimulasikan PV diperlukan transfer function sumbu harosontal dan sumbu vertical. Desain kontrol PV dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Desain kontrol PV penjejak matahari dua axis

B. Transfer Function Horizontal Axis

Nilai torsi beban fotovoltaik diperoleh dari momen inersia panel sel surya dikalikan dengan percepatan sudut putar. Percepatan sudut putar berasal dari

percepatan sudut gear1. Momen inersia panel sel surya sumbu putar horizontal

$$J_1 = \frac{1}{12} m_{pv} L^2 \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \quad [kg.m^2] \quad (3)$$

Momen inersia penjejak matahari sumbu putar horizontal

$$J_{T1} = J_{st} + J_1 \quad [kg.m^2] \quad (4)$$

$$J_{T1} = 2.71684 \times 10^{-5} + J_1 \quad [kg.m^2] \quad (5)$$

$$FT_{inc} = \frac{\theta(s)}{V(s)} = wR \cdot \frac{K}{s((J_{T1}s+b)(Ls+R)+K^2)} \quad (6)$$

Fungsi transfer penjejak matahari sumbu putar horizontal:

$$FT_{inc} = \frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{0.00274}{3.289 \times 10^{-10} s^3 + 0.0004783 s^2 + 0.0007648 s} \quad (7)$$

C. Transfer Function Vertical Axis

Nilai torsi beban fotovoltaik diperoleh dari momen inersia panel sel surya dikalikan dengan percepatan sudut putar. Percepatan sudut putar berasal dari percepatan sudut gear1. Momen inersia panel sel surya vertical rotating-axis

$$J_2 = \frac{1}{2} m_{pv} (L^2 + W^2) \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \quad [kg.m^2] \quad (8)$$

Momen inersia vertical rotating-axisPV rolar tracker

$$J_{T2} = J_{st} + J_2 \quad [kg.m^2] \quad (9)$$

$$J_{T2} = 2.71684 \times 10^{-5} + J_2 \quad [kg.m^2] \quad (10)$$

Fungsi transfer penjejak matahari sumbu putar vertical:

$$FT_{vert} = \frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{0.00274}{2.384 \times 10^{-9} s^3 + 0.003467 s^2 + 0.0007648 s} \quad (11)$$

III. METODE PENELITIAN

A. PID Controller

Kontrol PID adalah sistem kontrol gabungan antara kontrol proporsional, integral, dan turunan (derivative). Pada metode ini, penalaan dilakukan dalam kalang tertutup dimana masukan referensi yang digunakan adalah fungsi tangga (step). Pengendali pada metode ini hanya pengendali proporsional. Kp, dinaikkan dari 0 hingga nilai kritis Kp, sehingga diperoleh keluaran yang terus-menerus berosilasi dengan amplitudo yang sama. Nilai kritis Kp ini disebut sebagai ultimated gain. Nilai ultimated period, Tu, diperoleh setelah keluaran sistem mencapai kondisi yang terus menerus berosilasi[16].

B. Firefly Algorithm (FA)

Algorithm Firefly (FA) pertama ditemukan oleh Dr.Xin-She Yang di Universitas Cambridge pada tahun 2007[18].

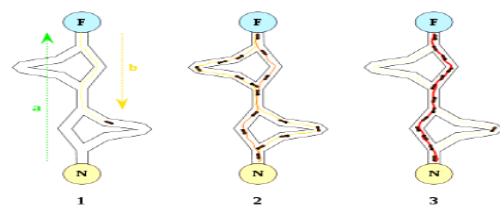
Dalam proses permasalahan optimisasi, kecerahan cahaya kunang-kunang adalah sebanding untuk nilai dari fungsi tujuan. Bentuk lain dari kecerahan dapat didefinisikan pada cara yang sama untuk fungsi fitness pada algoritma genetika. Dalam proses permasalahan optimisasi, kecerahan cahaya kunang-kunang adalah 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 dapat diringkas sebagai pseudo code. Data parameter-parameter standar FA yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2 Parameter FA

Parameter	Nilai
Beta	0.5
Alpha	0.5
Gamma	0.5
Dimensi	3
Jumlah Kunang-Kunang	50
Iterasi maksimum	50

C. Ant Colony Optimization (ACO) [10]

Ant colony Optimization adalah salah satu kecerdasan buatan yang bisaya digunakan untuk oprtimasi system, diantaranya system kendaraan[9], wind diesel[17], Motor listrik dan system tenaga ataupun renewable energi lainnya. Semut merupakan tergolong salah satu hewan yang pintar, mereka mampu mencapai makannya dengan jalur yang terpendek dan tercepat. Perilaku semut adalah inspirasi untuk Algoritma ant colony Optimization ini. Pada awalnya berjalan secara acak, setelah mendapatkan kembali makanan untuk koloni mereka juga meletakkan feromon atau jejak. Jika semut lain menemukan jalan semacam itu, mereka tidak akan bepergian secara acak, tapi semut tidak mengikuti jejak lagi, jika pada akhirnya mereka menemukan makanan baru. Ketika seekor semut menemukan jalur (pendek) dari koloni ke sumber makanan, semut lain akan lebih cenderung mengikuti jalan itu. Langkah - langkah Penyelesaian Komputasi Pada ACO terlihat pada gambar 4[17].



Gambar 4. Langkah-langkah komputasi ACO.

Kemampuan individual terbatas semut telah mampu menemukan jalan terpendek antara sumber makanan dan sarang. Semut pertama menemukan sumber makanan (F), melalui cara apapun (a), kemudian kembali ke sarang (N), meninggalkan jejak (b). Semut berikutnya mengikuti empat cara yang mungkin, tetapi iya memilih jalur sebagai rute

terpendek. Semut mengambil rute terpendek, dan jejak route yang panjang akan hilang. Seekor semut k ketika melewati ruas akan meninggalkan pheromone. Jumlah pheromone yang terdapat pada ruas ij setelah dilewati semut k diberikan dengan rumus:

$$\tau_{i,j} \leftarrow \tau_{i,j} + \Delta\tau^k \quad (12)$$

Dengan meningkatnya nilai pheromone pada ruas i-j, maka kemungkinan ruas ini akan dipilih lagi pada iterasi berikutnya semakin besar. Setelah sejumlah simpul dilewati maka akan terjadi penguapan pheromone dengan aturan sebagai berikut:

$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - \rho) \tau_{i,j}, j : \forall (i,j) \in A \quad (13)$$

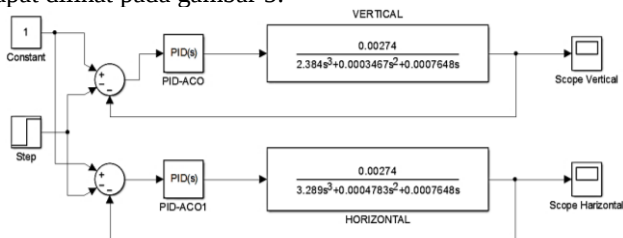
Penurunan jumlah pheromone memungkinkan semut untuk mengeksplorasi lintasan yang berbeda selama proses pencarian. Ini juga akan menghilangkan kemungkinan memilih lintasan yang kurang bagus. Selain itu, ini juga membantu membatasi nilai maksimum yang dicapai oleh suatu lintasan pheromone.[10]. Parameter ACO bisa dilihat pada tabel 7.

Tabel 1. Parameter ACO

Parameter	symbol	Value
Number of ants	η	50
Learning rate constant	γ	2.5
Pheromone persistence	ρ	0.1
Pheromone width	ω	20^0
Bin width	$\Delta\phi$	10^0
Restart length	m	50

D. Desain PV

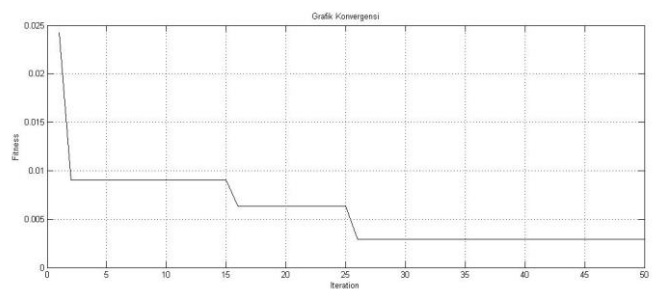
Dari transfer function dari persamaan dan parameter PV dapat dilihat pada gambar 5:



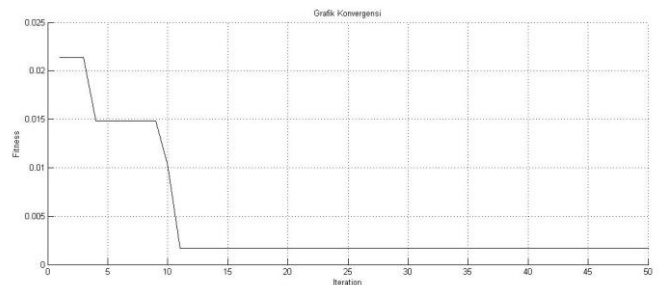
Gambar 5. Simulasi dual axis

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Grafik konvergensi FA dan ACO pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada gambar 5 dan 6



Gambar 5. Konvergensi FA



Gambar 6. Konvergensi ACO

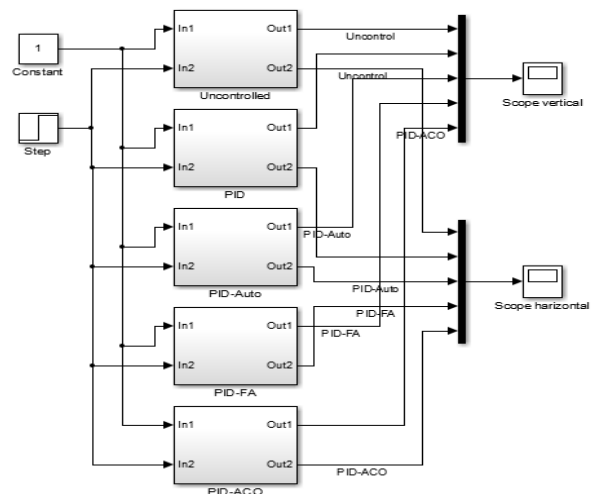
Dari gambar konvergensi FA dan ACO dapat dikatakan bahwa ACO lebih cepat untuk mencapai konvergen.

Konstanta hasil simulasi didapatkan konstanta kp, ki, dan kd seperti pada tabel 4.

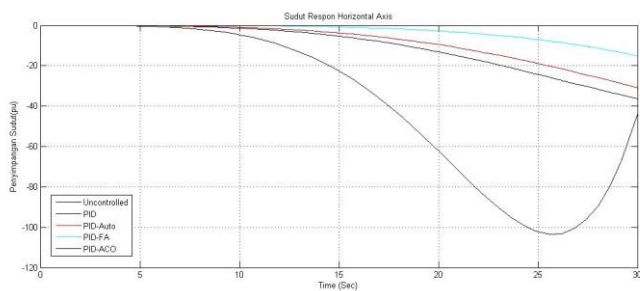
Tabel 4. Konstanta PID

	Unc	PID	PID-AUTO	PID-FA	PID-ACO
Kp	-	1	0.643471	0.000277	0.000393
Ki	-	1	0.012683	0.040568	0.000071
Kd	-	0	-0.091234	0	0

Desain tanpa kontrol, PID kontrol, PDI-FA, dan PID-ACO dapat dilihat pada gambar 7.

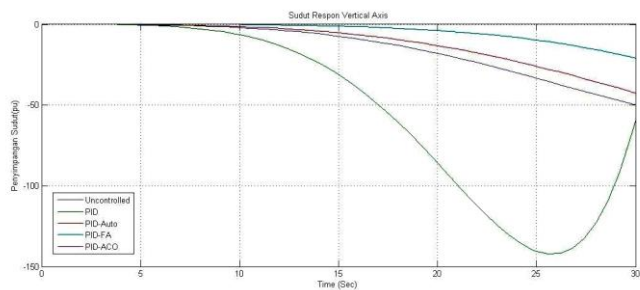


Gambar 7. Desai kontrol dual axis pada PV



Gambar 8. Sudut Respon Horizontal Axis

Dari gambar 8 didapatkan penyimpangan sudut secara Horizontal tanpa kontrol 0.3624pu, PID sebesar -1.324pu, PID-Auto sebesar -0.3087pu, PID-FA sebesar -0.1525pu, dan PID-ACO sebesar -0.0005pu.



Gambar 9. Sudut Respon Vertical Axis

Dari gambar 9 didapatkan penyimpangan sudut secara Vertical tanpa kontrol 0.489 pu, PID sebesar -1.422pu, PID-Auto sebesar -0.4242pu, PID-FA sebesar -0.2018pu, dan PID-ACO sebesar -0.0007pu.

V. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi didapatkan penyimpangan sudut secara vertical terkecil pada kontroler PID-ACO sebesar -0.0007pu dan penyimpangan secara horizontal terkecil pada kontroler PID-ACO sebesar -0.0005pu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa PID-ACO merupakan kontroler terbaik pada penelitian ini. Penelitian ini nanti bisa dipakai sebagai acuan dan digunakan kontroler lain agar diperoleh kontroler yang optimal.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Engineering, "Design of a Charge Controller Circuit with Maximum Power Point Tracker (MPPT) for Photovoltaic System," *Des. Charg. Controll. cicuit with maximum power point tracking(MPPT)*, pp. 23–24, 2012.
- [2] S. Ray and A. K. Tripathi, "Design and development of Tilted Single Axis and Azimuth-Altitude Dual Axis Solar Tracking systems," in *1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems, ICPEICES 2016, 2017*.
- [3] V. M. Jovanovic, O. Ayala, M. Seek, and S. Marsillac, "Single axis solar tracker actuator location analysis," in *Conference Proceedings - IEEE SOUTHEASTCON*, 2016, vol. 2016–July.
- [4] T. Siswanto, D. H. Kusuma, and A. Raikhani, "Desain Optimal Load Frequency Control (Lfc) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (Pso) B-35 B-36," *Pros. SENTIA 2016 – Politek. Negeri Malang*, vol. 8, pp. 35–39, 2016.
- [5] Muhlasin and M. Ali, "Auto-Tuning Method For Designing Matlab Dc Motor Speed Control With PID (Proportional Integral Derivative)," *ADRI Int. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 5–8, 2017.
- [6] H. Kusuma, M. Ali, and N. Sutantra, "The comparison of optimization for active steering control on vehicle using PID controller based on artificial intelligence techniques," in *Proceedings - 2016 IEEE-International Seminar on Application of Technology for Information and Communication, ISEMANTIC 2016, 2017*.
- [7] M. Ali and I. Robandi, "Desain Pitch Angle Controller Turbin Angin Dengan Permanent Magnetic Synchronous Generator (PMSG) Menggunakan Imperialist Competitive Algorithm (ICA)," *Pros. SENTIA 2015 – Politek. Negeri Malang*, vol. 7, no. 1, pp. 2085–2347, 2015.
- [8] 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.
- [9] M. Ali, I. Umami, and H. Sopian, "Optimisasi Steering Control Mobil Listrik Auto-Pilot Menggunakan Metode Ant Colony Optimization (ACO)," *J. Intake*, vol. 6, no. 1, pp. 34–50, 2015.
- [10] M. Dorigo, M. Birattari, and T. Stutzle, "Ant colony optimization," *IEEE Comput. Intell. Mag.*, vol. 1, no. 4, pp. 28–39, 2006.
- [11] M. Ali and A. Suhadak, "Optimisasi Steering Control Mobil Listrik Auto-Pilot Menggunakan Metode Firefly Algorithm (FA)," in *Semnasinotek 2017, UN PGRI, Kediri*, 2017, pp. 61–68.
- [12] H. Nurohmah, A. Raikhani, and M. ALI, "Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial Menggunakan Modified Firefly Algorithms (MFA) Pada Penyulang Tanjung Rayon Jombang," *J. JEEUU*, vol. 1, no. 2, pp. 13–16, 2017.

- [13] 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.
- [14] Budiman, M. Ali, and M. R. Djalal, "Kontrol Motor Sinkron Permanen Magnet Menggunakan Algoritma Firefly," in *SEMANTIKOM 2017, Universitas Madura*, 2017, pp. 9–16.
- [15] M. M. Sabir and T. Ali, "Optimal PID controller design through swarm intelligence algorithms for sun tracking system," *Appl. Math. Comput.*, vol. 274, pp. 690–699, 2016.
- [16] M. Ali, "Kontrol Kecepatan Motor DC Menggunakan PID Kontroler Yang Ditunning Dengan Firefly Algorithm," *J. Intake*, vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2012.
- [17] M. Ali and H. Nurohmah, "The ACO-ANFIS Hybrid Method used for LFC Optimization in Wind – Diesel Hybrid Power System," in *Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI 2017)*, 2017, pp. 225–229.
- [18] X. S. Yang, "Firefly Algorithm," *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*, pp. 79–90, 2007.