

Optimasi PID Controller pada Wind-Turbine Berbasis Ant Colony Optimization dan Firefly Algorithm

¹ Wiky Krisdianto, ² Miftachul Jannah Firdaus, ³ Dwi Ajiatmo, ⁴ Hidayatul Nurohmah, ⁵ Machrus Ali

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

¹ wikykrisdianto429@gmail.com, ² miftachuljannahfirdaus@gmail.com, ³ ajiatmo@gmail.com,

⁴ hidayatul.nurohmah.mt@gmail.com, ⁵ machrus7@gmail.com

Abstrak — *Proporsional Integrator Diferensial (PID) controller digunakan untuk mengontrol Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG). Pitch variable-speed wind turbine telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Saat kecepatan angin rendah di bawah nilai rata-rata, pengatur kecepatan harus dapat mengatur kecepatan rotor secara terus-menerus untuk mempertahankan kecepatan pada sebuah level. sehingga dapat memberikan koefisien daya maksimum, efisiensi turbin akan meningkat. Pitch angle control adalah salah satu cara untuk menyesuaikan torsi aerodinamik pada turbin angin. Pengaturan pitch angle diperlukan dalam kondisi kecepatan angin diatas batas yang diinginkan. Perubahan kecil pada pitch angle dapat mempengaruhi output daya. Penggunaan kecerdasan buatan sering digunakan untuk optimasi tenaga listrik, optimasi system kontrol, maupun optimasi lainnya. 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. Hasil penelitian menunjukkan bahwa; rata-rata daya aktif paling kecil dan tidak stabil pada model tanpa kontrol = 0,3305 Watt dengan 10/ms, dan yang paling besar adalah model PID-ACO dengan daya aktif = 2,624 Watt dengan frekuensi sebesar 180/ms. Model PID-ACO adalah model terbaik pada penelitian ini dan dapat diusulkan dapat diterapkan pada sistem yang lebih tinggi.*

Kata Kunci— ACO, FA, PID, Wind Turbine

Abstract - *Proportional Differential Integrator (PID) controller is used to control Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG). Pitch variable-speed wind turbine has grown rapidly in recent years. When the wind speed is low below the average, the speed regulator must be able to adjust the rotor speed continuously to maintain speed at a level. so as to provide maximum power coefficient, turbine efficiency will increase. Pitch angle control is one way to adjust the aerodynamic torque in the wind turbine. The pitch angle setting is required in wind speed conditions above the desired limit. Small changes to the pitch angle can affect the power output. The use of artificial intelligence is often used for power optimization, control system optimization, and other optimization. Among the artificial intelligence is Firefly Algorithm (FA) and Ant Colony Optimization (ACO). In this study comparing several methods, uncontrolled, PID, PID-FA, and PID-ACO. The results showed that; the average active power is smallest and unstable on the uncontrolled model = 0.3305 Watt with 10 / ms, and the largest is the PID-ACO model with an active power = 2.624 Watt with a*

frequency = 180 / ms. The PID-ACO model is the best model in this study and can be proposed to be applied to higher systems.

Keywords- ACO, FA, PID, Wind Turbine

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi dan peningkatan jumlah penduduk maka kebutuhan akan energy listrik juga akan meningkat. Akibatnya beban listrik akan meningkat juga. Dengan adanya peningkatan beban listrik maka pasokan listrik ke konsumen juga dipengaruhi. Akibatnya apabila pasokan listrik bertambah maka daya output yang dikeluarkan oleh generator juga akan bertambah. *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)* merupakan generator sinkron yang mempunyai magnet permanen[1]. PMSG ini akan dikopel dengan turbine angin agar menghasilkan energi listrik, sehingga dengan adanya PMSG dapat mengurangi biaya pengeluaran yang mahal. PMSG mempunyai efisiensi yang kurang optimal untuk menghasilkan daya listrik. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan angin, *pitch angle*[2]. Oleh karena itu, PMSG perlu dikontrol untuk menghasilkan daya listrik yang optimal. Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) merupakan generator sinkron yang mempunyai magnet permanen. PMSG ini akan dikopel dengan turbine agar menghasilkan energi listrik. PMSG mempunyai efisiensi yang kurang optimal untuk menghasilkan daya listrik[3][4]. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan angin, pitch angle dan lain-lain. Oleh karena itu, turbine perlu dikontrol untuk menghasilkan daya listrik yang optimal. Saat ini Artificial Inteligent (AI) sering digunakan untuk mengembangkan berbagai keilmuan diantaranya sebagai control steer kendaraan[5], sebagai kontrol sudu turbin angin [6], sebagai kontrol mikrohidro[7], sebagai kontrol kecepatan motor DC[8]. Diantaranya juga menggunakan metode Ant Colony Optimization (ACO)[9][10][11] dan Firefly Algorithm (FA)[12][13][14][15]. Maka pada penelitian ini digunakan kecerdasan buatan ACO dan FA sebagai tuning PID Controller.

1. Model Wind Turbin

Aerodinamis Wind turbine bisa merubah energi angin menjadi energi kinetik yang kemudian digunakan untuk

mengoperasikan generator listrik. Angin yang melewati turbin akan menghasilkan energi yang sama dengan energi yang transformasikan oleh turbin. Persamaan energi kinetik;

$$U = \frac{1}{2}(\rho Ax)V^2 \quad (1)$$

Dimana :

- U = energi kinetik (joule)
- ρ = intensitas udara (kg/m^3)
- A = luas penampang (m^2)
- x = ketebalan penampang (m)
- V = kecepatan angin (m/s)

Kekuatan angin (P_w) adalah turunan dari energi kinetik;

$$P_w = \frac{1}{2}\rho AV^3 \quad (2)$$

Daya mekanik dan torsi yang di transformasikan adalah seperti persamaan:

$$P_r = P_w C_p = \frac{1}{2} C_p(\beta, \gamma) \rho \pi R^2 V^3 \quad (3)$$

$$T_r = \frac{1}{2} C_T(\beta, \lambda) \rho \pi R^3 V^2 \quad (4)$$

Nilai C_p sangat nonlinear dan bervariasi pada kecepatan angin, kecepatan rotasi turbin, parameter blade turbin serta pitch angle. Hal ini dibatasi oleh batas Betz (59%).

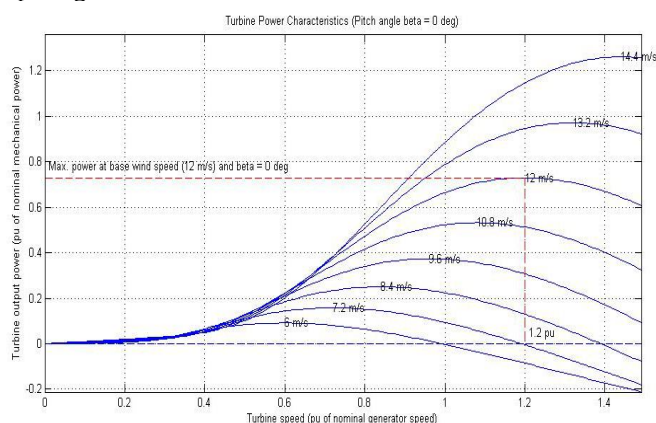
$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (5)$$

Dimana :

- λ = ratio kecepatan
- ωR = ratio antara kecepatan bujursangkar dari ujung turbin
- V = kecepatan angin
- $C_p(\lambda, \beta) = \lambda C_t(\lambda, \beta)$ (6)

Koefisien C_t merupakan fungsi yang sangat nonlinear dari rasio kecepatan tip, dan blade pitch angle β . [4]

Karakteristik operasi dari variabel kecepatan variable-pitch wind turbine bisa digambarkan dari kurva daya, yang memberi perkiraan dari output daya sebagai fungsi dari kecepatan angin. Operasi wind turbine dapat digambarkan seperti gambar 1.



Gambar 1. Karakteristik wind turbine[6]

Wilayah operasi wind turbine terdapat tiga titik yang berbeda; Cut-in wind speed: kecepatan angin terendah dimana wind turbine mulai menghasilkan daya listrik, Rated wind speed: kecepatan angin pada saat wind turbine menghasilkan daya listrik, yang biasanya merupakan daya maksimum dari wind turbine, Cut-out wind speed: kecepatan angin yang dapat menghentikan dan mematikan wind turbine agar terlindung dari kerusakan mekanik.

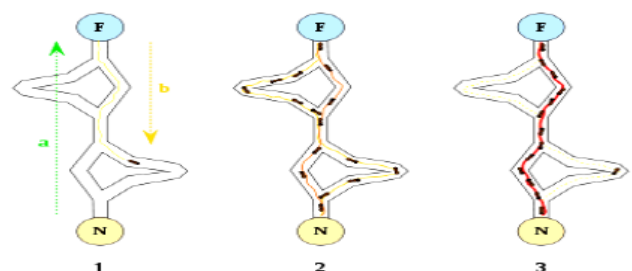
2. METODE PENELITIAN

1. 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. K_p , dinaikkan dari 0 hingga nilai kritis K_p , sehingga diperoleh keluaran yang terus-menerus berosilasi dengan amplitudo yang sama. Nilai kritis K_p ini disebut sebagai ultimated gain. Nilai ultimated period, T_u , diperoleh setelah keluaran sistem mencapai kondisi yang terus menerus berosilasi [16][17][18].

2. Ant Colony Optimization (ACO)[11]

Ant colony Optimization adalah salah satu kecerdasan buatan yang bisaya digunakan untuk oprtimasi system, diantaranya system kendaraan [10], wind diesel [19], Motor listrik dan system tenaga ataupun renewable energi lainnya. Semut merupakan tergolong salah satu hewan yang pintar, mereka mampu mencapai makannanya 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 [19].



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:

$$\tau_{i,j} \leftarrow \tau_{i,j} + \Delta\tau^k \quad (6)$$

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:

$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - \rho) \tau_{i,j}, j : \forall (i, j) \in A \quad (7)$$

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.[11]. 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

3. Firefly Algorithm (FA)

Algorithm Firefly (FA) pertama ditemukan oleh Dr.Xin-She Yang di Universitas Cambridge pada tahun 2007[20]. 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

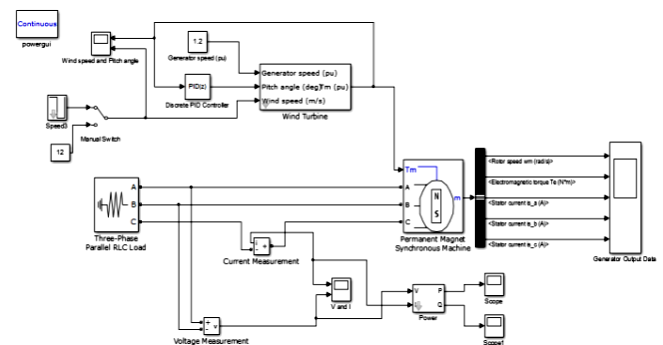
Parameter	Nilai
<i>Beta</i>	0.5

<i>Alpha</i>	0.5
<i>Gamma</i>	0.5
Dimensi	3
Jumlah Kunang-Kunang	50
Iterasi maksimum	50

4. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

1. Model Wind Turbine

Pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan memutar rotor pada generator, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga angin (Wind-Turbine). Secara teknis, Wind Turbine memiliki tiga komponen utama yaitu angin, turbin dan generator. Pengaturan torsi dan putaran wind turbine dapat dimodelkan seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan pada Wind Turbine

2. Konstanta PID pada Wind Turbine

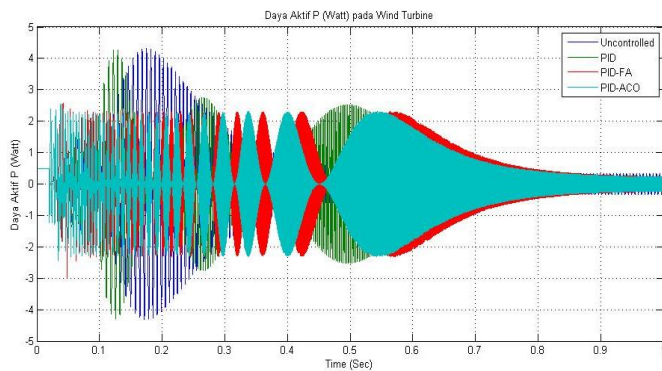
Dengan memasukkan parameter-parameter dan running program pada plant pembangkit hibrid wind-diesel didapatkan nilai konstanta PID pada masing-masing model. Konstanta Kp, Ki dan Kd pada PID dapat dilihat pada table 3 dan 4:

Tabel 3. Konstanta PID Wind Turbine

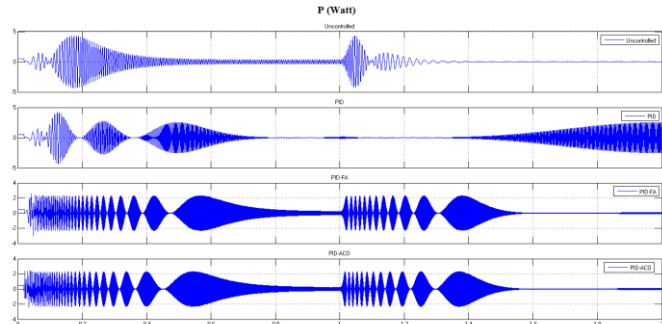
	PID	PID-FA	PID-ACO
Kp	1	0.000071	0.000012
Ki	1	-1.714324	-4.674206
Kd	0	0	0

3. Respon Wind Turbine

Hasil output Daya Aktif (P) dalam satuan Watt dapat dilihat pada gambar 3a dan 3b. berikut ini:



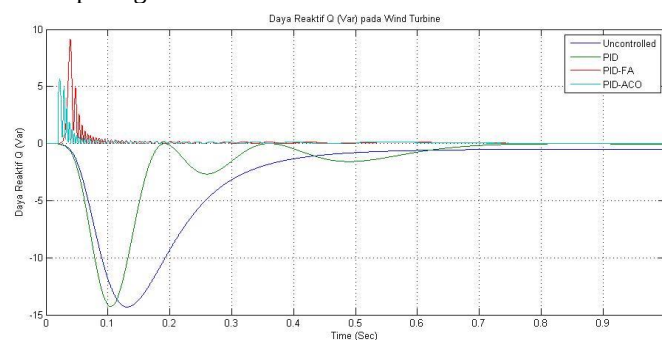
Gambar 3a. Daya Aktif (Watt)



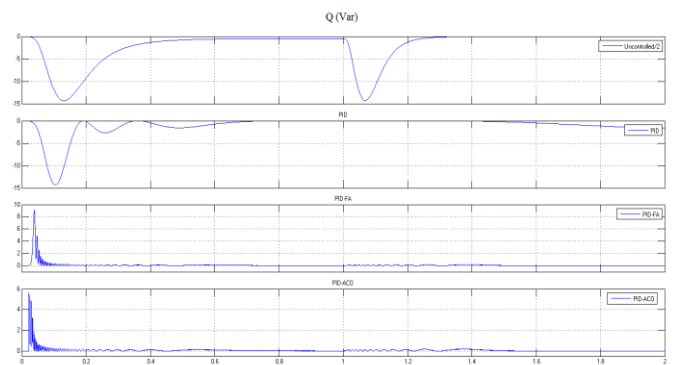
Gambar 3b. Daya Aktif (Watt)

Gambar 3a dan 3b menunjukkan rata-rata daya aktif pada uncontrolled paling kecil dan tidak stabil, yaitu 0,3305 Watt dengan 10/ms, untuk PID menunjukkan 1,4984 Watt dengan 20/ms, untuk model PID-FA menunjukkan 2,165 Watt dengan 180/ms, untuk model PID-ACO menunjukkan 2,473 Watt dengan 180/ms.

Hasil output Daya Reaktif (Q) dalam satuan Var dapat dilihat pada gambar 4a dan 4b. berikut ini:



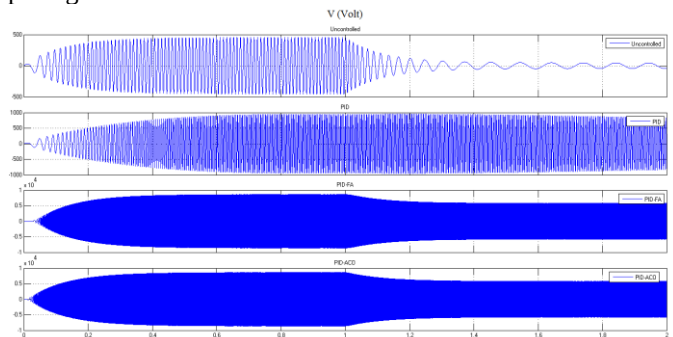
Gambar 4a. Daya Reaktif (Var)



Gambar 4b. Daya Reaktif (Var)

Gambar 4a dan 4b menunjukkan rata-rata daya reaktif model uncontrolled adalah paling besar dan tidak stabil, yaitu -14,31 Var dengan 10/ms, untuk PID menunjukkan -1,5798 Var dengan 20/ms, untuk model PID-FA yaitu -0,1821 Var dengan 180/ms, untuk model PID-ACO yaitu -0,1203 Var dengan 180/ms.

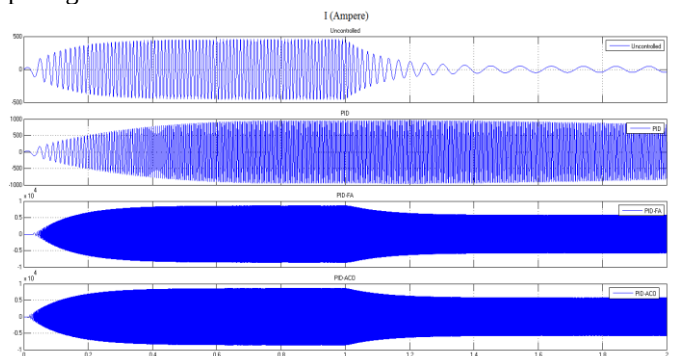
Hasil output tegangan (V) dalam satuan Volt dapat dilihat pada gambar 5. berikut ini:



Gambar 5. Tegangan (Volt)

Gambar 5 menunjukkan bahwa arus maksimal model uncontrolled adalah paling kecil dan tidak stabil, yaitu 0,1807 A dengan 10/ms, PID menunjukkan arus 0,7155 A dengan 20/ms, model PID-FA adalah 3,184 A dengan 180/ms, model PID-ACO yaitu 3,362 A dengan 180/ms.

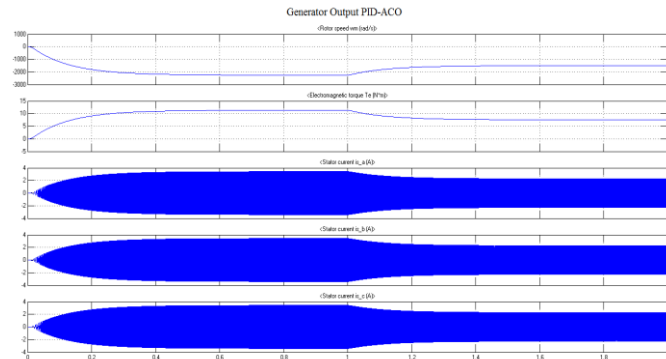
Hasil output Arus (I) dalam satuan Ampere dapat dilihat pada gambar 6. berikut ini:



Gambar 6. Arus (Ampere)

Gambar diatas menunjukkan bahwa arus maksimal model uncontrolled adalah paling kecil dan tidak stabil, yaitu 0,1807 A dengan 10/ms, PID menunjukkan arus 0,7155 A dengan 20/ms, model PID-FA yaitu 3,172 A dengan 180/ms, model PID-ACO adalah 3,263A dengan 180/ms.

Hasil output Generator terdiri dari; Rotor speed ω_m (rad/s), Electromagnetic Torque T_e (Nm), Stator current (A,B,C) dapat dilihat pada gambar 7:



Gambar 7. Hasil Output Generator

Dari keempat gambar output generator diatas menunjukkan bahwa daya yang bisa dibangkitkan pada model uncontrolled adalah paling kecil dan tidak stabil, dan model PID-ACO adalah yang terbaik

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi keempat model kontrol yang ditunjukkan pada gambar 3, 4, 5, 6, dan 7 menunjukkan bahwa PID-ACO merupakan model terbaik dengan daya aktif 2,473 Watt dengan 180/ms, daya reaktif -0,1203 Var dengan frekuensi 180/ms, dan output generator yang paling stabil dibandingkan dengan kontrol yang lain.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Li, T. A. Haskew, R. P. Swatloski, and W. Gathings, "Optimal and direct-current vector control of direct-driven PMSG wind turbines," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 5, pp. 2335–2337, 2012.
- [2] M. B. MIDA and S. A., "Pitch Angle Control for Variable Speed Wind Turbines," *J. Renew. Energy Sustain. Dev.*, pp. 81–88, 2015.
- [3] 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.
- [4] M. Ali, Soedibyo, and I. Robandi, "Desain Pitch Angle Controller Turbin Angin Dengan Permanent Magnetic Synchronous Generator (PMSG) Menggunakan Imperialist Competitive Algorithm (ICA)," in *SENTIA-2015, Polinema, Malang*, 2015, pp. B128–B131.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] M. Dorigo, M. Birattari, and T. Stutzle, "Ant colony optimization," *IEEE Comput. Intell. Mag.*, vol. 1, no. 4, pp. 28–39, 2006.
- [12] 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.
- [13] H. Nurohmah, A. Raikhani, and M. ALI, "Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial Menggunakan Modified Firefly Algorithms (MFA) Pada Penyulang Tanjung Rayon Jombang," *J. JEEU*, vol. 1, no. 2, pp. 13–16, 2017.
- [14] 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.
- [15] Budiman, M. Ali, and M. R. Djalal, "Kontrol Motor Sinkron Permanen Magnet Menggunakan Algoritma Firefly," in *SEMANTIKOM 2017, Universitas Madura*, 2017, pp. 9–16.
- [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] H. Nurohmah, M. Ali, and M. R. B. Djalal, "Desain Frekuensi Kontrol pada Hibrid Wind-Diesel Dengan PID–Imperialist Competitive Algorithm (ICA)," *J. Intake*, vol. 6,

- no. 2, pp. 35–42, 2015.
- [18] Y. G. Hartlambang, H. Nurohmah, and M. Ali, “Optimasi Kecepatan Motor DC Menggunakan Algoritma Kelelawar (Bat Algorithm),” in *SEMANTIKOM 2017, Universitas Madura*, 2017, pp. 1–8.
- [19] 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.
- [20] X. S. Yang, “Firefly Algorithm,” *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*, pp. 79–90, 2007.