

Optimasi Load Frequency Control pada Wind-Diesel berbasis Differential Evolution dan Bat Algorithm

Luqman Hakim, Kholish Ghoutsul Fadlil, Agus Raikhani, Hidayatul Nurohmah, Machrus Ali

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum, Jombang
hluqman400@gmail.com, kholikfadili555@gmail.com, agus.raikhani@gmail.com,
hidayatul.nurohmah.mt@gmail.com, machrus7@gmail.com

Abstrak—Sistem pembangkit tenaga angin sangat dipengaruhi oleh besarnya dan kecepatan angin sebagai daya input. Sistem pembangkit gabungan angin-diesel diperlukan untuk mendapatkan kualitas daya yang optimal. Sistem hibrida adalah jaringan terkontrol dari beberapa pembangkit energi terbarukan seperti turbin angin, sel surya, mikro-hidro, dan seterusnya. Tidak optimal pengaturan gain dan waktu konstan kecil pada Load Frequency Control (LFC), menyebabkan kemampuannya menjadi lemah (garis lemah). Dalam prakteknya, sistem angin-diesel dikendalikan dengan kontroler PID. Pengaturan nilai gain dari PID masih dalam metode konvensional, sehingga sulit untuk mendapatkan nilai optimal. Dalam penelitian ini diterapkan perancangan kontrol dengan menggunakan Metode Cerdas dalam mencari nilai optimum Proportional Integral Derivative (PID) dengan berbasis Differential Evolution (DE) dan Bat Algoritma (BA). Sebagai perbandingan, metode digunakan tanpa metode kontrol, metode PID konvensional, metode Firefly Algorithm (PID-FA), dan metode Ant Colony Optimization (PID-ACO). Pemodelan angin-diesel menggunakan fungsi transfer diagram turbin angin dan diesel. Studi ini membandingkan beberapa metode yang tidak dikontrol dan PID konvensional, PID-ACO, dengan PID-FA, PID-DE, dan PID-BA. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa undershoot terkecil sebesar -1.3801×10^{-4} adalah PID-DE, overshoot terkecil 0 pada PID-FA, PID-BA, PID-DE, dan settling time tercepat sebesar 20.51s pada PID-BA. Sehingga dapat disimpulkan bahwa PID-BA merupakan kontroler terbaik pada penelitian ini. Penelitian ini nantinya bisa diteruskan dengan menggunakan metode kecerdasan buatan lainnya.

Kata Kunci— BA, DE, PID, Wind-Diesel

Abstract - The wind power system is strongly influenced by the magnitude and wind speed as input power. A combined wind-diesel generating system is required to achieve optimum power quality. The hybrid system is a controlled network of several renewable energy generators such as wind turbines, solar cells, micro-hydro, and so on. No optimal gain setting and small constant time on Load Frequency Control (LFC), causing its ability to be weak (weak line). In practice, the wind-diesel system is controlled with a PID controller. Setting the gain value of PID is still in a conventional method, so it is difficult to get the optimum value. In this research applied control design by using Intelligent Method to find optimum value of Proportional Integral Derivative (PID) with Differential Evolution (DE) and

Bat Algorithm (BA). By comparison, methods are used without control methods, conventional PID methods, Firefly Algorithm (PID-FA) methods, and Ant Colony Optimization (PID-ACO) methods. Wind-diesel modeling uses the diagram of wind turbine and diesel transfer functions. The results of the research show that the smallest undershoot of -1.3801×10^{-4} is PID-DE, the smallest overshoot 0 on PID-FA, PID-BA, PID-DE, and the fastest settling time of 20.51s in PID-BA. So it can be concluded that PID-BA is the best controller in this research. This research can later be continued by using other artificial intelligence methods.

Keywords- BA, DE, PID, Wind-Diesel

I. Pendahuluan

Pengembangan sumber-sumber energi baru terbarukan sebagai sumber energi pada saat ini adalah sangat diperlukan. Penelitian dan riset di berbagai negara dalam rangka pengembangan energi terbarukan sudah banyak diteliti. Dalam penelitian ini peneliti mengambil permasalahan tentang sistem hibrid. Sistem hibrid adalah suatu jaringan yang terkontrol dari beberapa sumber energi terbarukan seperti turbin angin, *photovoltaic*, mikrohidro, dan sebagainya. Akan tetapi dalam prakteknya karena adanya perbedaan pengaturan fluktuasi maka hal ini akan berpengaruh terhadap kualitas suplai tenaga yang ada pada sistem hibrid[1]. Pada penelitian sebelumnya studi kestabilan operasi sistem hibrid membahas teknik pengaturan frekuensi serta mendiskusikan teknik gabungan sistem *fuel cell* dan elektrolisa hibrid untuk meningkatkan kemampuan sistem mikrogrid dalam peningkatan kualitas daya dari permasalahan fluktuasi frekuensi.

Pengaturan yang diajukan dan sistem pemantauan (*monitoring*) yang dilakukan adalah untuk menjaga kualitas daya, juga untuk menjaga kestabilan fluktuasi frekuensi yang disebabkan adanya daya random pada pembangkitan serta pada sisi beban juga untuk menjaga

kestabilan fluktuasi aliran daya pada tieline aliran daya yang diakibatkan fluktuasi frekuensi dari interkoneksi sistem hibrid. Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pengaturan frekuensi pada *Wind-Diesel*[2]. Dari beberapa permasalahan pengaturan frekuensi yang menyebabkan fluktuasi aliran daya pada berbagai jenis pembangkitan sistem hibrid yang terkoneksi. *Artificial Intelligent* (AI) sering digunakan untuk mengembangkan berbagai keilmuan sebagai kontrol *steer* kendaraan[3][4], sebagai kontrol sudu turbin angin [5], sebagai kontrol mikrohidro[6], sebagai kontrol kecepatan motor DC[7]. Diantaranya juga menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) [8][9][10], *Firefly Algorithm* (FA)[11][12][13][14], *Differential Evolution* (DE)[15], dan *Bat Algorithm* (BA)[16][17]. Maka pada penelitian ini digunakan kecerdasan buatan DE dan BA sebagai *tuning* PID Controller.

II. Tinjauan Pustaka

Sistem *hybrid Wind-Diesel* adalah suatu jaringan yang terkontrol dari beberapa sumber energi terbarukan yaitu turbin angin dan *Diesel*.

A. Tenaga Listrik Tenaga Angin

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 tubin. Persamaan energi kinetik;

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

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:

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

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

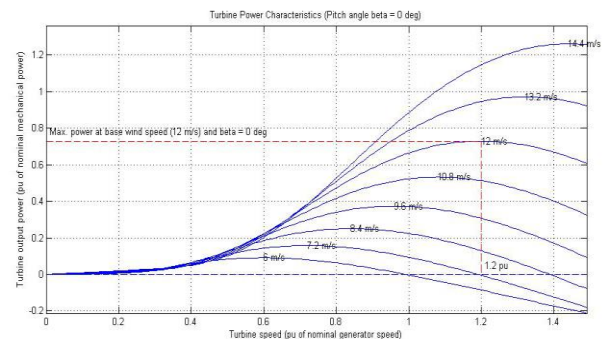
Nilai C_p sangat *nonlinear* dan bervariasi pada kecepatan angin, kecepatan rotasi turbin, parameter *blade* turbin serta *pitch angle*. Hal ini dibatasi oleh batas *Betz* (59%).

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

$$C_p(\lambda, \beta) = \lambda C_t(\lambda, \beta) \quad (6)$$

Koefisien C_t merupakan fungsi yang sangat *nonlinear* dari rasio kecepatan tip, dan *blade pitch angle* β . [18]

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[5]

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.

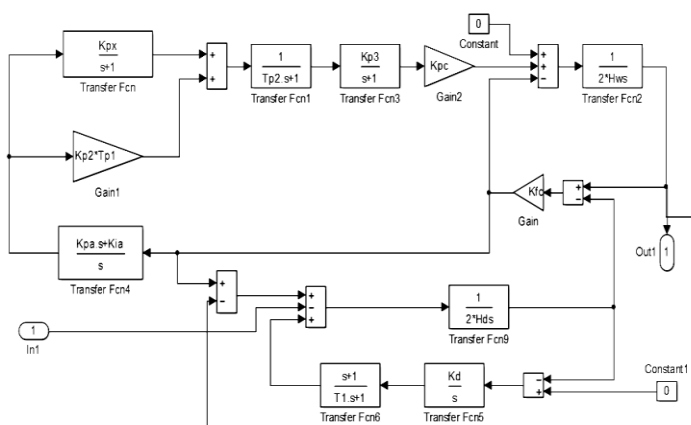
B. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel adalah pembangkit energi listrik yang menggunakan mesin *diesel* sebagai penggerak awal (*prime mover*). *Prime mover* merupakan peralatan yang mempunyai fungsi sebagai penghasil energi mekanik yang diperlukan untuk memutar rotor pada generator. Pada PLTD yang berfungsi sebagai *prime mover* adalah mesin *diesel*. PLTD ini merupakan pembangkit energi listrik yang menggunakan bahan bakar *fossil* yang biayanya relatif tinggi. Bagian – bagian Pembangkit Listrik Tenaga Diesel, yaitu: tangki penyimpanan bahan bakar, penyaring bahan bakar, tangki penyimpanan bahan bakar sementara (bahan bakar yang disaring), pengabut, mesin *diesel*, *turbo charger*, penyaring gas pembuangan,

tempat pembuangan gas (bahan bakar yang disaring), generator, trafo, dan saluran transmisi.

C. Hibrid Deisel-Turbin Angin

Sistem daya hibrid diesel-turbin angin dapat diterapkan pada daerah terpencil yang tingkat kecepatan angin cukup signifikan untuk menggerakkan generator dalam memproduksi listrik tetapi untuk penyediaan energi pada sistem jaringan terkoneksi tidak ekonomis. Hasil pembangkitan energi listrik dari sistem hibrid *Wind-Diesel* dapat menyediakan pelayanan yang baik bagi pelayanan beban ke konsumen, namun semua itu tergantung pada tipe dan karakteristik kontrol pembangkitan. Variasi sistem frekuensi harus dapat dijaga kestabilannya agar peralatan dapat beroperasi dengan baik dan efisien. Strategi yang berbeda dapat diterapkan dengan mereduksi perbedaan pembangkitan dan beban serta mengatur deviasi frekuensi sistem. Adapun strategi-strategi yang dapat dilakukan dengan cara pengaturan kontrol beban tiruan, prioritas switching kontrol beban, penggunaan *flywheel*, superkonduktor magnetik dan baterai. Model dalam studi kasus ini terdiri dari sub sistem: model dinamik turbin angin, model dinamik diesel, kontrol kecepatan sudu turbin angin dan model dinamik generator. Blok diagram fungsi transfer Turbin Angin-Diesel pada gambar 2. sebagai berikut.



Gambar 2. Pemodelan Turbin Angin- Diesel

Parameter pembangkit listrik hybrid wind diesel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Wind-Diesel

$\Delta\omega_1$	Frekuensi generator Angin (hz)	-
ΔP_{load}	Perubahan Beban Masuk (p.u.kW)	-
ΔP_{wtg}	Pembangkit Tenaga Angin (p.u.kW)	-
H_w	Konstanta dari Sistem Angin (s)	3.5
H_d	Konstanta dari Sistem Angin (s)	8.5
s	Laplace Komplek Frekuensi Generator	-
ΔP_{max}	Pengaturan Daya Maksimum	0
ΔP_t	Pembangkit Tenaga Diesel (p.u.kW)	-
P_r	Kapasitas Area (kW)	350
$\Delta\omega_2$	Frekuensi generator Diesel (hz)	-
K_{pc}	Karakteristik Gain Blade	0.08
K_{FC}	Gain Fluida Kopling	16.2
K_{p3}	Gain Data Respon Lapangan	1.4
K_{p2}	Gain Aktuator Hidrolik	1.25
K_{p1}	Gain Kontrol Program	4
Tp_1, Tp_2	Waktu Konstan dari Aktuator Hidrolik	0.6, 0.041

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. 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.

B. Algoritma Kelelawar (Bat Algorithm (BA))

Sebelum membahas mengenai algoritma kelelawar yang dapat membantu menemukan solusi suatu permasalahan di bidang teknik maka akan di perkenalkan terlebih dahulu tingkah laku kelelawar dan jenis-jenis kelelawar. Microbat memiliki frekuensi konstan yang biasanya di wilayah 25kHz sampai 150 kHz, meskipun masing-masing sinyal hanya berlangsung

sekian detik (sampai sekitar 8 sampai 10 ms). Kisaran frekuensi untuk sebagian besar spesies kelelawar berada di wilayah antara 25kHz dan 100kHz, adapun beberapa spesies dapat memancarkan frekuensi yang lebih tinggi hingga 150 kHz. Penelitian menunjukkan bahwa microbats menggunakan waktu tunda dari emisi dan deteksi gema, perbedaan waktu antara dua telinga mereka, dan variasi kenyaringan gema untuk membangun bentuk tiga dimensi dari sekitarnya. Mereka dapat mendeteksi jarak dan orientasi target, jenis mangsa, dan bahkan kecepatan bergerak dari mangsa seperti serangga kecil. Penelitian menunjukan bahwa kelelawar mampu membedakan target dengan variasi efek *Doppler* yang disebabkan oleh tingkat kepakakan. *Pseudo code* Algoritma Kelelawar Berdasarkan persamaan konsep ekolokasi dari kelelawar pada pembahasan sebelumnya maka berikut ini akan di berikan suatu *pseudo code* dari algoritma kelelawar yang dikembangkan oleh Yang (2010) :

```

Fungsi objektif  $f(x)$ ,  $x = (x_1, \dots, x_d)^T$ 
Inisiasi populasi kelelawar  $x_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) dan  $v_i$ 
Definisikan frekuensi  $f_i$  pada  $x_i$ 
Inisiasi laju emisi gelombang
 $r_i$  dan tingkat kekerasan  $A_i$ 
while ( $t < \text{iterasi maksimum}$ )
    Bangkitkan solusi baru dengan mengatur frekuensi
    Perbaharui kecepatan dan lokasi
    [persamaan (4) sampai (6)]
    if ( $\text{rand} > r_i$ )
        pilih solusi diantara solusi terbaik
        bangkitkan solusi lokal diantara solusi terbaik
    (7))
end
if ( $\text{rand} < A_i$  &  $f(x_i) < f(x_*)$ )
    terima solusi yang baru
    perbaharui  $r_i$  dan  $A_i$  dengan persamaan (8)
end
Urutkan setiap kelelawar dan pilih  $x_*$  yang baru
End
    
```

C. Differential Evolution (DE)

Algoritma DE merupakan salah satu metode *metaheuristik* terbaru yang diperkenalkan oleh Storn dan Price (1997). Ide awal DE berasal dari algoritma *Genetic Annealing* di mana algoritma berdasarkan pembangkitan populasi dengan melakukan perturbasi (perturbation) pada suatu faktor mutan untuk membentuk populasi mutan. Operator *crossover* mengkombinasikan populasi

mutan dengan populasi target untuk membangkitkan populasi percobaan. Selanjutnya operator seleksi membandingkan nilai fungsi fitness antara populasi percobaan dengan populasi target. Akhirnya individu yang terbaik akan menjadi anggota populasi generasi berikutnya. Proses ini diulang sampai tercapainya suatu konvergensi. Penyelesaian permasalahan penjadwalan *flow shop* dengan menggunakan DE dapat dilakukan apabila parameter kontinyu pada DE diubah menjadi permutasi mengubah nilai parameter kontinyu menjadi permutasi job dengan melakukan prosedur *smallest position value* (SPV), menggunakan prosedur *largest-order-value* (LOV).

Algoritma *Differential Evolution* (DE) dapat diringkas sebagai *pseudo code* berikut:

```

Generate the initial population of individuals
Do
    For each individual  $j$  in the population
        Choose three numbers  $n_1, n_2$ , and  $n_3$  that is,  $1 \leq n_1, n_2, n_3 \leq N$  with  $n_1 \neq n_2 \neq n_3 \neq j$ 
        Generate a random integer  $i_{\text{rand}} \in (1, N)$ 
        For each parameter  $i$ 
             $y_j^{i,g} = x_j^{n_1,g} + F(x_j^{n_2,g} - x_j^{n_3,g})$ 
             $z_j^{i,g} = \begin{cases} y_j^{i,g} & \text{if } \text{rand}() \leq \text{CR or } j = j_{\text{rand}} \\ x_j^{i,g} & \text{otherwise} \end{cases}$ 
        End For
        Replace  $x_j^{i,g}$  with the child  $z_j^{i,g}$  if  $z_j^{i,g}$  is better
    End For
Until the termination condition is achieved
    
```

IV. Hasil Simulsi dan Analisis

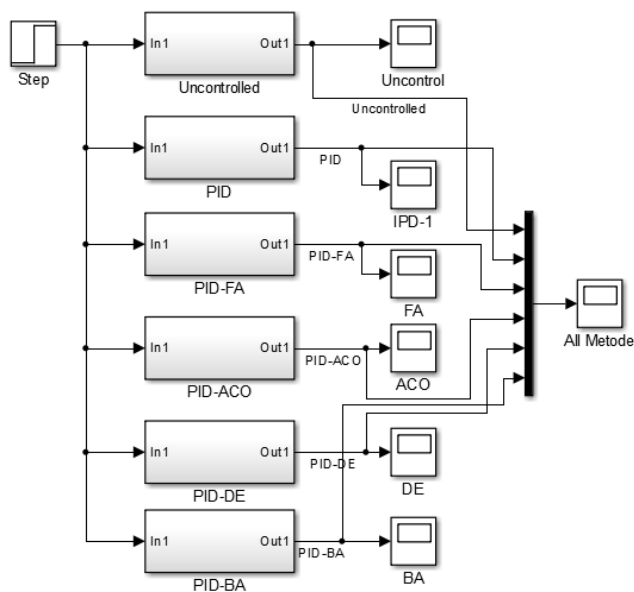
A. Konstanta PID Wind-Diesel

Dengan memasukkan parameter-parameter dan *running* program pada plant pembangkit hibrid *wind-diesel* didapatkan nilai konstanta PID pada masing-masing model. Konstanta K_p , K_i dan K_d pada PID dapat dilihat pada table 4. dibawah ini:

Tabel 4. Konstanta PID Wind Diesel

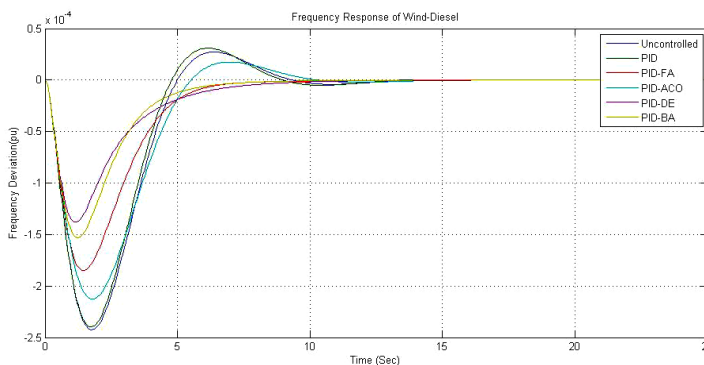
	Unc	PID	PID-ACO	PID-FA	PID-BA	PID-DE
K_p	-	1	24.9428	16.4211	28.5215	38.1652
K_i	-	1	11.4951	2.7927	9.81713	10.0001
K_d	-	0	0.8453	0.0692	0.0011	0

Gambar blok rancangan simulasi Wind-Diesel dapat dilihat pada gambar 2:



Gambar 2. Pemodelan blok Wind-Diesel

Hasil penelitian dari beberapa metode kontrol dapat digambarkan pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Respon Wind Diesel berbagai Kontroler

Dari hasil grafik diatas dapat dijelaskan sebagai berikut : tanpa *controller* didapatkan nilai *undershoot* sebesar -2.4243×10^{-4} *overshoot* sebesar 2.7225×10^{-5} *settling time* sebesar 24.82s, PID didapatkan nilai *undershoot* sebesar -2.39783×10^{-4} *overshoot* sebesar 3.0954×10^{-5} *settling time* sebesar 23.25s, PID-FA didapatkan nilai *undershoot* sebesar -1.8482×10^{-4} *overshoot* sebesar 0 *settling time* sebesar 22.56s, PID-ACO didapatkan nilai *undershoot* sebesar -2.1268×10^{-4} *overshoot* sebesar 1.7565×10^{-5} *settling time* sebesar 24.25s, PID-DE didapatkan nilai *undershoot* sebesar -1.3801×10^{-4} *overshoot* sebesar 0 *settling time* sebesar

22.50s, dan PID-BA didapatkan nilai *undershoot* sebesar -1.5298×10^{-4} *overshoot* sebesar 0 *settling time* sebesar 20.51s

V. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa:

1. *undershoot* terkecil sebesar -1.3801×10^{-4} adalah PID-DE.
2. *overshoot* terkecil 0 pada PID-FA, PID-BA, PID-DE
3. *settling time* tercepat sebesar 20.51s pada PID-BA.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa PID-BA merupakan kontroler terbaik pada penelitian ini. Penelitian ini nantinya bisa diteruskan dengan menggunakan metode kecerdasan buatan lainnya.

VI. Daftar Pustaka

- [1] G. Bhuvaneswari and R. Balasubramanian, "Hybrid wind-diesel energy systems," in *Stand-Alone and Hybrid Wind Energy Systems - Technology, Energy Storage and Applications*, 2010, pp. 191–215.
- [2] R. Sebastián, "Simulation of the transition from wind only mode to wind diesel mode in a no-storage wind diesel system," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 7, no. 5, pp. 539–544, 2009.
- [3] D. 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 International Seminar on Application of Technology for Information and Communication, ISEMANTIC 2016*, 2017.
- [4] 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 IEEE -International Conference on Information and Communication Technology, ICoICT 2015*, 2015, pp. 500–503.
- [5] 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.
- [6] 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.

- [7] 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.
- [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] N. Padhye, P. Mittal, and K. Deb, “Differential evolution: Performances and analyses,” in *2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2013*, 2013, pp. 1960–1967.
- [16] X. Yang, “Bat Algorithm for Multiobjective Optimization,” *Int. J. Bio-Inspired Comput.*, vol. 3, no. 5, pp. 267–274, 2011.
- [17] 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.
- [18] 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.