

## OPTIMASI KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN HYBRID ANFIS-PID-FA CONTROLLER

Buyung Imawan<sup>(1)</sup>, Suprima<sup>(1)</sup>, Yanuangga Gala Hartlambang<sup>(2)</sup>, Muhlasin<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Teknik Elektro, Universitas Darul 'Ulum, Jombang

<sup>(2)</sup>Teknik Informatika, Universitas Darul 'Ulum, Jombang

buyung.imawan@gmail.com, primaanto07@yahoo.com, yanuangga@gmail.com, mohlasin\_pascasarjana@yahoo.com

### ABSTRAK

Nonlinearity of the DC motor will make the application to control the speed automatically. Unfortunately, non-linear dynamic model of a DC motor has limitations on the design of a series of close-loop feedback controllers. Non-linear characteristics of DC motors such as friction and saturation can degrade the performance of conventional controls. This can be overcome by intelligent control based Artificial Intelligent (AI). In this study, designed the model of DC motor speed control using some sort of control, namely autotuning matlab PID control, PID with Firefly Algorithms (FA) and combining methods Neural Adaptive Fuzzy Inference System with Firefly Algorithms on Proportional Integral Derivative controller. The results of the performance of the model DC motor speed control using the Hybrid ANFIS-PID-FA found to have a settling time and overshoot are better than the PID Autotuning Matlab, PID-ZN (Ziegler Nichols PID), or PID-FA. Of running several models of regulation (PID control-ZN, PID Autotuning Matlab, PID-FA, ANFIS-PID-FA) obtained settling time later than 5.00 seconds on the model without a controller, Overshoot highest 1.492 on PID-ZN, while Overshoot smallest 1.015 and the fastest settling time 0.285 seconds on ANFIS-PID-FA. This shows that the hybrid ANFIS-PID-controller FA is the best in this study.

**Kata Kunci:** *hybrid, Anfis, motor DC, Firefly Algorithms*

### 1. Pendahuluan

Saat ini perindustrian dinegara kita mengalami perkembangan yang cukup pesat, baik pada perindustrian besar maupun industri kecil sejalan dengan perkembangan industri tersebut kebutuhan akan motor-motor listrik meningkat pula sesuai dengan kebutuhan pasar. Motor arus searah ialah suatu mesin yang berfungsi mengubah tenaga listrik arus searah (listrik DC) menjadi tenaga gerak atau tenaga mekanik, dimana tenaga gerak tersebut berupa putaran dari pada rotor. Meskipun memiliki torsi yang relatif tinggi, tetapi karakteristik kecepatan putarnya tidak linier. Ketidaklinearan dari motor DC akan mempersulit dalam aplikasi yang membutuhkan kecepatan kontrol secara otomatis. Karakteristik non linear dari motor DC seperti gesekan dan saturasi dapat menurunkan kinerja dari konvensional Kontrol (Dwi Hartanto, 2001). Kontroler PID biasanya digunakan untuk aplikasi kontrol motor karena struktur sederhana dan algoritma kontrol mudah untuk dipahami. Parameter kontroler umumnya menggunakan *Try And Error* atau metode respon frekuensi *Ziegler-Nichols*. Kedua metode ini memiliki hasil yang sukses tapi cukup lama dan untuk mendapatkan respon sistem yang memuaskan. Dua masalah utama yang dihadapi

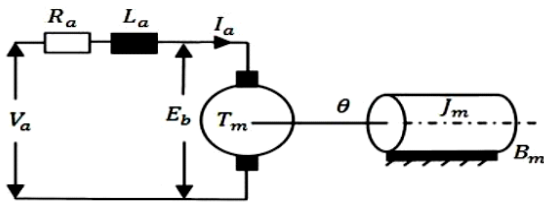
dalam kontrol motor adalah sifat waktu bervariasi parameter motor dalam kondisi operasi dan adanya noise dalam sistem loop.

Untuk mengontrol kecepatan motor DC pada paper ini akan mendesain model kontrol motor DC menggunakan kontrol PID yang dituning dengan *Firefly Algorithms* (FA) dan gabungan metode antara *Adaptif Newral Fuzzy Inference System* (ANFIS) dengan *Firefly Algorithms* (FA). Hasil performance dari Model kontrol motor DC menggunakan gabungan FA dan ANFIS diharapkan memiliki *steady state error*, *settling time* dan *overshoot* yang lebih baik.

### 2. Kajian Pustaka

#### A. Motor DC

Pada motor DC seri, kumparan medan dihubungkan seri dengan kumparan jangkar dimana kedua arus medan dan arus jangkar adalah identik atau sama. Pada motor DC seri memiliki karakteristik starting torsi yang tinggi yang membuatnya cocok untuk aplikasi yang memiliki inerti serta sistem traksi tinggi dan memiliki non linear model yang dinamik. Rangkaian ekuivalen dari motor DC ditunjukkan oleh Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. rangkaian equivalen motor DC

Armature resistance ( $R_a$ ) diseri dengan Armatur inductance ( $L_a$ ), dengan demikian nilai Ia akan sama. Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$V_a = R_a \cdot i_a(t) + L_a \cdot \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t)$$

Dengan data penelitian sebelumnya (Walaa M Stroy, 2013) diperoleh besaran nilai sebagai berikut:

- $R_a$  (Armature resistance) = 2.45Ω
  - $L_a$  (Armature inductance) = 0.035H
  - $K_b$  (Back emf) = 1.2Vs/rad
  - $J_m$  (Moment of inertia) = 0.022 kgm<sup>2</sup>
  - $B_m$  (Frictional constant) = 0.5 (Nms/rad)
- (Walaa M Stroy, 2013)

Dengan memasukkan konstanta diatas didapatkan transfer function sebagai berikut:

**Transfer Function :**

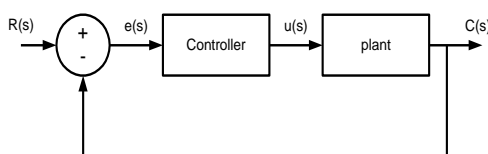
$$\frac{\theta(s)}{V_a(s)} = \frac{K_b}{J \cdot L_a \cdot s^3 + R_a \cdot J \cdot s^2 + (K_b \cdot B_m + R_a \cdot B_m) s}$$

Sehingga didapatkan transfer function:

$$\frac{\theta(s)}{V_a(s)} = \frac{1,2}{0,0007s^3 + 0,0539s^2 + 1,441s}$$

**B. PID Controller**

Pada gambar 2 diperlihatkan bahwa: *Controller* merupakan suatu unit yang didesain untuk mengontrol tingkah laku secara menyeluruh dari sistem plant. Sedangkan, *plant* adalah unit yang dikontrol.



Gambar 2 Sistem control feedback

Fungsi alih controller P(Proportional):

$$G_c(s) = K_p$$

Fungsi alih controller PI(Proportional Integral):

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} = \frac{K_p s + K_I}{s}$$

Fungsi alih controller PID (Proportional Integral Derivative):

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_I}{s}$$

Nilai kritis  $K_p$  ini disebut sebagai *ultimated gain*. Nilai *ultimated period* dan nilai  $T_u$  diperoleh setelah keluaran sistem mencapai kondisi yang terus menerus beresilasi.

**C. Firefly Algorithm (FA)**

Metode yang digunakan untuk mengoptimisasi parameter PID adalah metode *Firefly Algorithm* (FA). Algoritma ini pertama ditemukan oleh Dr.Xin-She Yang di Universitas Cambridge pada tahun 2007. Pada algoritma ini terdapat tiga perumusan dasar :

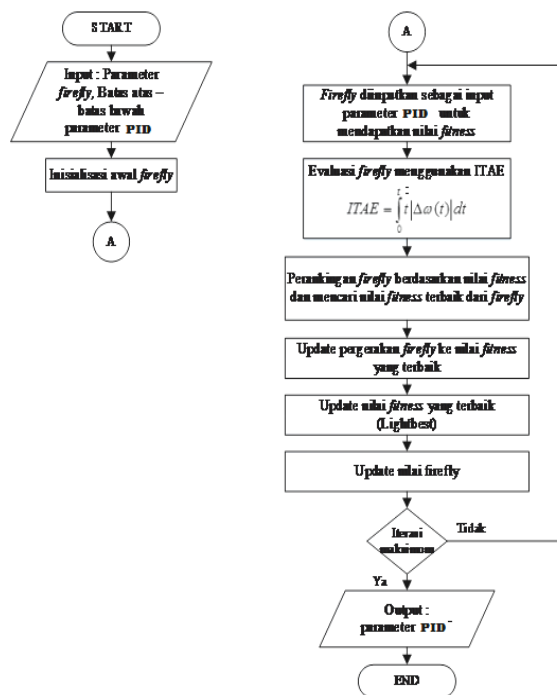
Semua kunang-kunang adalah unisex, jadi suatu kunang-kunang akan tertarik dengan kunang-kunang lain terlepas dari jenis kelamin mereka. Daya tarik sebanding dengan kecerahan, maka kunang-kunang dengan kecerahan lebih redup akan bergerak kearah kunang-kunang dengan kecerahan lebih terang dan kecerahan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

Kecerahan cahaya kunang-kunang adalah sebanding untuk nilai dari fungsi tujuan di dalam proses optimisasi. Dengan cara yang sama pula kecerahan dapat didefinisikan pada 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 (FA) dapat diringkas sebagai *pseudo code* berikut: (Yang, X. S., 2009).

```

Fungsi objektif f(x), x = (x1, ...,xd)T
Inisialisasi populasi kunang-kunang xi (i = 1, 2, ...,n)
Tentukan koefisien penyerapan cahaya γ
while(t <Max Generation)
    fori = 1 : n semua n kunang-kunang
        forj = 1 : i semua n kunang-kunang
            Intensitas cahaya Ii pada xi
            ditentukan olehf(xi)
            if(Ij> Ii)
                Pindahkan kunang-kunang I menuju j
                padadimensi d
            end if
            Ketertarikan populasi dengan jarak
            r padaexp[-γ 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
    
```



Gambar 3. Diagram alur penalaan FA pada PID

Data parameter-parameter FA yang digunakan ditunjukkan pada table 1. berikut.

**Penggunaan FA dalam penalaan PID**

Gambar 3 menunjukkan diagram alur algoritma metode *Firefly Algorithm (FA)* yang digunakan pada penelitian penelitian ini. Fungsi objektif yang digunakan untuk menguji kestabilan sistem adalah dengan *Integral Time Absolut Error (ITAE)*. Sesuai dengan persamaan dibawah ini:

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

Parameter PID yang ditala oleh FA adalah Kd, Kp, Ki. Adapun untuk diagram alur proses penalaan parameter PID dengan menggunakan metode *firefly algorithm* ditunjukkan oleh *flowchart* pada gambar 3. Dengan melihat diagram alur, akan lebih memudahkan kita untuk mengetahui runtutan-runtutan proses yang perlu dilakukan untuk menyusun suatu sistem.

Tabel 1 Parameter FA

Parameter	Nilai
Alpha	0.25
Beta	0.2
Gamma	1
Dimensi	3
Jumlah Kunang-Kunang	50
Iterasi maksimum	50

**D. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)**

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) adalah penggabungan mekanisme fuzzy inference system yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf. Sistem inferensi fuzzy yang digunakan adalah sistem inferensi fuzzy model Tagaki-Sugeno-Kang (TSK) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi. Mekanisme inferensi fuzzy TSK orde satu dengan dua masukan x dan y (Gambar 4). Basis aturan

dengan dua aturan fuzzy if-then seperti dibawah ini :

Rule 1 : if x is A1 and y is B1 then  $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

Rule 2 : if x is A2 and y is B2 then  $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

Input : x dan y. Consequent-nya adalah f.

Cara kerjanya seperti sistem FIS biasa cuma cara perhitungannya (algoritmanya) yang beda. Untuk mengontrol kecepatan motor listrik dengan mengatur tegangannya, jadi x itu pengukuran harga variabel yang dikontrol yaitu kecepatan pada saat ke t, dan misalnya y pengukuran pada saat ke t+1 sedangkan f adalah nilai tegangan yang diberikan sebagai sinyal kontrol. Harga x dan y tersebut jelaskan bukan fuzzy. Lalu nilai x dan y tersebut dipetakan pada fungsi keanggotaannya. (Hidayat, 2015)

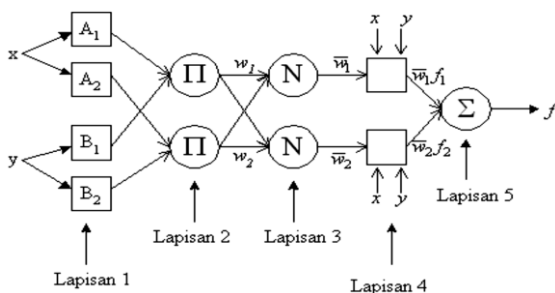
Dari pemetaan tersebut x dan y sudah jadi variabel fuzzy yang masing-masing punya nilai m small dan big tertentu. x mempunyai nilai mA1 dan mA2 sedangkan y punya nilai mB1 dan mB2. Nilai masing-masing pasangan input tersebut lalu diagregasi dengan operasi T-norm, misalnya operasi ini adalah operasi AND. Jadi  $w_1 = (mA1 \text{ AND } mB1)$  sedangkan  $w_2 = (mB1 \text{ AND } mB2)$ .

Dari basis aturan yang udah dibuat kita ketahui

if  $w=w_1$  then  $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

if  $w=w_2$  then  $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

Ini merupakan nilai output sinyal kontrol, yaitu tegangan. Sedangkan untuk Struktur Anfis bisa dilihat pada (Gambar 4)

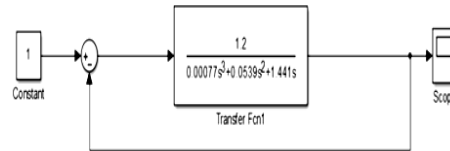


Gambar 4. Struktur Anfis (Sanju Saini,2012)

### 3. Pemodelan

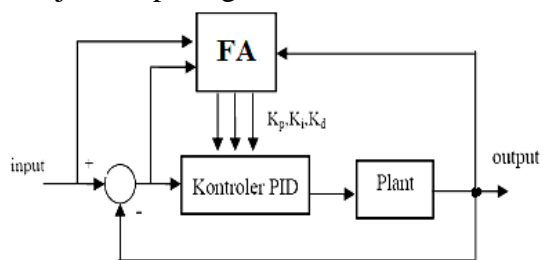
#### A. Model pengaturan kecepatan motor DC

Dari transfer function rangkaian motor DC dapat dimodelkan ke dalam bentuk diagram seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram rangkaian motor DC

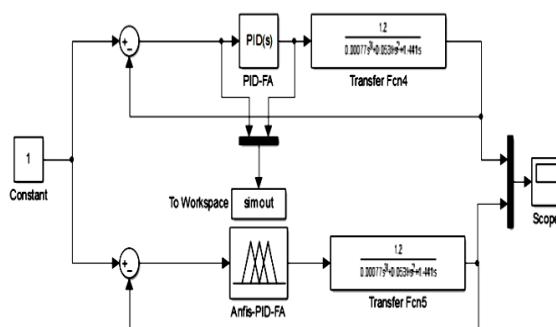
Kontroler PID-FA digunakan untuk mencari konstanta PID dengan metode FA ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Struktur kontroler PID-FA

Konstanta PID ( $K_p, K_i$  dan  $K_d$ ) dicari dengan metode FA. Konstanta didapatkan dari hasil running program dengan algoritma Firefly.

Blok diagram Training data Anfis dari hasil tuning PID-FA dapat dilihat pada gambar 7.



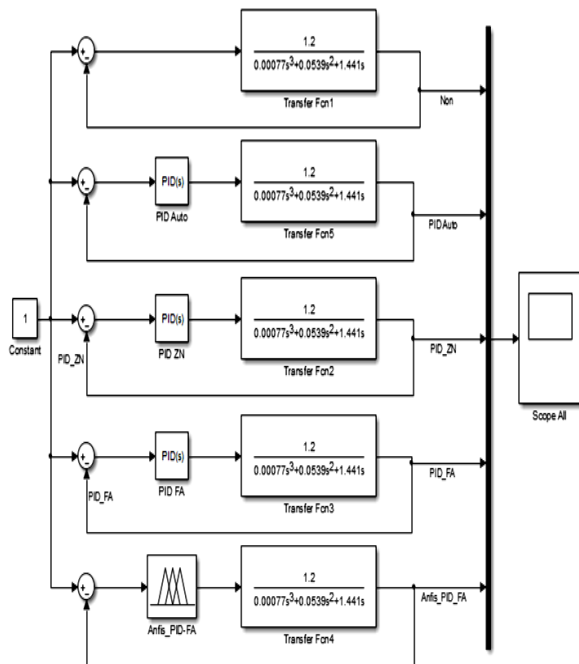
Gambar 7. Struktur Anfis-PID-FA

Data training FA pada motor DC disimpan dalam workspace dan dipelajari oleh Anfis kemudian digunakan untuk

memperoleh membership function dan rule yang sesuai dengan training datanya.

**B. Simulasi**

Bentuk simulasi dan blok diagram perancangan model pengaturan kecepatan motor DC dapat dilihat pada gambar 8. dibawah ini:

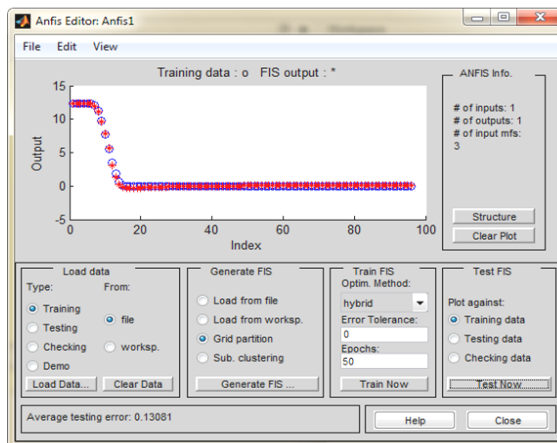


Gambar 8. Model perancangan kecepatan motor DC

Dengan referensi yang sama motor DC diuji dengan beberapa metode, tanpa control, dengan control PID auto tuning , dengan PID Ziegler Nichols, dengan PID yg detuning FA dan dengan gabungan Anfis yang detraining dengan PID-FA.

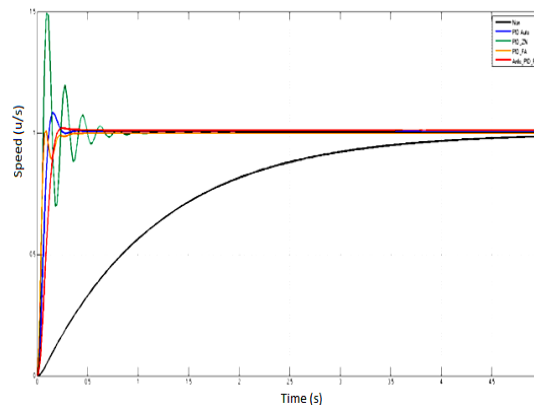
**4. Hasil Penelitian**

Hasil training data Anfis-PID-FA diperoleh dari data hasil running PID-FA kemudian dimasukkan kedalam Anfis editor dan dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Hasil training data Anfis-PID-FA

Dari Anfis editor dapat dilihat bahwa hasil output dan data training sangat berimpit. Ini menjukkah bahwa hasilnya sangat identik. Dengan mempelajari data tersebut sebagai acuan, maka dihasilkan betuk control yang lebih baik. Dari hasil running program didapatkan hasil respon beberapa macam control seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil respon beberapa macam control

Dari hasil simulasi didapatkan nilai konstanta Kp, Ki, Kd, *Overshoot*, *settling time* seperti pada table 2:

Tabel 2. Nilai Hasil Simulasi

	Tanpa kontrol	PID-Auto	PID-ZN	PID-FA	Anfis-PID-FA
Kp	-	20.198	49.410	11.934	-
Ki	-	2.862	0.019	7.701	-
Kd	-	0.126	0.075	0	-
<i>Overshoot</i>	-	1.085	1.492	1.061	1.015
<i>Settling time</i>	5.000s	0.556s	1.562s	0.452s	0.285s

Dari tabel didapatkan bahwa model motor DC tanpa control memiliki *settling time* sangat panjang, yaitu 5.002 detik meskipun tidak memiliki *Overshoot*. Pengaturan dengan PID *Auto tuning* pada matlab didapatkan nilai  $K_p = 20.198$ ,  $K_i = 2.862$ ,  $K_d = 0.126$ , *Overshoot* = 1.085 dan *settling time* = 0.556 detik. Pengaturan dengan PID konvensional (*Ziegler Nichols*) didapatkan nilai  $K_p = 49.410$ ,  $K_i = 0.019$ ,  $K_d = 0.075$ , *Overshoot* = 1.492, *settling time* = 1.562 detik. Pengaturan dengan PID yang dituning oleh *Firefly Algorithm* didapatkan nilai  $K_p = 11.934$ ,  $K_i = 7.701$ ,  $K_d = 0$ , *Overshoot* = 1.061, *settling time* = 0.452 detik. Sedangkan pengaturan dengan Anfis dengan *tracking data* PID-FA didapatkan nilai *Overshoot* = 1.015, *settling time* = 0.285 detik.

## 5. Kesimpulan

Dari running program didapatkan dari beberapa model pengaturan (control PID Ziegler Nichols, PID Autotuning Matlab, PID Firefly Algorithms, Anfis-PID-FA) *settling time* paling panjang 5.00 detik pada model tanpa *controller*, *Overshoot* paling tinggi 1.492 pada PID-ZN, sedangkan *Overshoot* terkecil 1.015 dan *settling time* tercepat 0.285 detik pada Anfis-PID-FA. Ini menunjuk bahwa Anfis-PID-FA merupakan *controller* terbaik pada penelitian ini. Penelitian ini bisa dipakai untuk melanjutkan penelitian dengan metode yang lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dwi Hartanto, Thomas Wahyu, *Analisis Dan Desain System Kontrol Dengan MATLAB*, Andy.Yogyakarta. 2001.
- Husein Ahmad , Gagan Signh, *Controlling of D.C. Motor using Fuzzy Logic Controller*“, Conference on Advances in Communication and Control Systems 2013 (CAC2S 2013)
- H. Shayeg, A. Safari and H. A. Shayanfar, *Multimachine Power System Stabilizer Design Using Particle Swarm Optimization Algorithm*”, International journal of Electrical Power and Energy System Engineering, 2008, 226-233.
- Karaman S, Ozturk I, Yalcin H, Kayacier A, Sagdic O: *Comparison of Adaptive Neuro Fuzzy Inference System and artificial neural networks for estimation of oxidation parameters of sunflower oil added with some natural byproduct extracts*, J. Sci. Food Agric. 92 (2012) 49 – 58
- Muhammad H. Rashid, *Power Electronics Circuits, Devices, and Applications*, Prentice Hall, 2004
- Sanju Saini, Arvind Kumar, *Speed Control of Separately Excited D.C Motor using Self Tuned ANFIS Techniques*, IJCST Vol. 3, 2012, India.
- Walaa M Stogy, *Speed Control of DC Motor Using PID Controller Base On Artificial Intellegence Technique*, CoDIT'13 IEEE, 2013
- Yang, X. S. (2009). "Firefly algorithms for multimodal optimization". *Stochastic Algorithms: Foundations and Applications*, SAGA 2009. Lecture Notes in Computer Sciences 5792.