



Kontrol Kecepatan Motor BLDC dengan PID - *Firefly*

Santi Triwijaya¹, Yuli Prasetyo², Trisna wati³

¹Politeknik Perkeretaapian Indonesia, ²Politeknik Negeri Madiun,³ Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

INFORMASI ARTIKEL

Jurnal IPTEK – Volume 25
Nomor 1, Mei 2021

Halaman:
51 – 58
Tanggal Terbit :
31 Mei 2021

DOI:
[10.31284/j.iptek.2021.v25i1.963](https://doi.org/10.31284/j.iptek.2021.v25i1.963)

EMAIL

santi@ppi.ac.id
yuliprasetyo2224@pnm.ac.id
trisnaw@itats.ac.id

PENERBIT

LPPM- Institut Teknologi
Adhi Tama Surabaya
Alamat:
Jl. Arief Rachman Hakim
No.100,Surabaya 60117,
Telp/Fax: 031-5997244

*Jurnal IPTEK by LPPM-
ITATS is licensed under a
Creative Commons
Attribution-ShareAlike 4.0
International License.*

ABSTRACT

Conventional DC motors often experience problems that require regular maintenance. The use of conventional DC motors can be replaced with Brushless DC (BLDC) motors. This BLDC motor has good efficiency and durability. Increasing the ability of BLDC motors can be done by speed regulation using the Proportional-Integral-Derivative (PID) method combined with Firefly Algorithm. Testing this method uses matlab 2014a. The firefly algorithm can obtain parameter values of Kp, Ki, and Kd which are then used as PID input. Because of inaccuracies in determining the value of a constant in PID and can cause the length of time to reach the desired speed. BLDC motor speed regulation with the PID method combined with firefly algorithm can make the BLDC motor reach synchronous faster.

Kata kunci: BLDC motor; (Proportional–Integral–Derivative controller) PID; firefly; speed control;

ABSTRAK

Motor DC konvensional sering mengalami masalah sehingga perlu perawatan berkala. Penggunaan Motor DC konvensional dapat diganti dengan motor Brushless DC (BLDC). Motor BLDC ini memiliki efisiensi dan ketahanan yang bagus. Peningkatan kemampuan motor BLDC dapat dilakukan dengan pengaturan kecepatan menggunakan metode Proportional–Integral–Derivative (PID) yang dikombinasikan dengan Firefly Algorithm. Pengujian metode ini menggunakan matlab 2014a. Algoritma firefly dapat memperoleh parameter nilai Kp, Ki, dan Kd yang kemudian digunakan sebagai inputan PID. Karena ketidaktepatan dalam penentuan nilai konstanta di PID dan dapat mengakibatkan lamanya mencapai kecepatan yang diinginkan. Pengaturan kecepatan motor BLDC dengan metode PID dikombinasikan firefly algorithm dapat membuat motor BLDC lebih cepat mencapai sinkron.

Kata kunci: motor BLDC; (kontrol Proportional–Integral–Derivative) PID; firefly; kontrol kecepatan;

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi saat ini, peran motor DC konvensional mulai tergeser. Hal ini disebabkan karena motor DC konvensional memiliki kekurangan yaitu dibutuhkan perawatan secara berkala pada komutator, dibutuhkan biaya awal yang mahal dan dibutuhkan pelepasan brush dalam beberapa periode waktu. Selain itu, motor DC konvensional juga dapat menimbulkan polusi udara di lingkungan sekitarnya. *Squirrelcage* motor induksi adalah alternatif untuk konvensional motor DC yang memiliki ketahanan lebih baik dengan biaya yg lebih minimum.

Tapi motor induksi memiliki kekurangan yaitu power faktor yang rendah torsi awal yang tinggi. Alternatif dari motor DC konvensional dan motor induksi adalah motor *Brushless* DC (BLDC)[1], [2]. Motor BLDC memiliki keunggulan dibanding dengan motor konvensional meliputi Kemudahan dalam kontrol, memiliki efisiensi yang baik, *life time* yang baik dan memiliki ketahanan yang bagus dalam pemakaian.

Motor *BLDC* tergolong kedalam jenis motor sinkron, maka slip yang dihasilkan adalah nol. Walaupun termasuk dalam motor listrik sinkron AC 3 fasa, 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*. Peningkatan kemampuan dari *motor drive* sangat penting dalam perindustrian contohnya pada industri penerbangan, robotik, otomotif, peleburan baja dan masih banyak lagi. Untuk meningkatkan kemampuan dari Motor BLDC dapat dilakukan pengontrolan yang salah satunya adalah kontrol kecepatan motor dari motor BLDC. Sehingga motor akan lebih cepat dalam mencapai kecepatan sinkronnya.

Pengaturan kecepatan motor BLDC terus berkembang dengan pesat dengan beragam metode. Salah satunya adalah penelitian pengaturan kecepatan motor BLDC dengan menggunakan metode hybrid Fuzzy Logic - Proportional Integral Controller (Fuzzy PI). Dalam penelitian ini, Fuzzy PI didesain guna memperbaiki respon dinamis pada sistem penggerak motor dan meminimalkan error steady state (ess). Sehingga dari hasil pengujian diketahui Fuzzy PI controller berhasil memperbaiki performa BLDC dengan error steady state yang rendah[2].

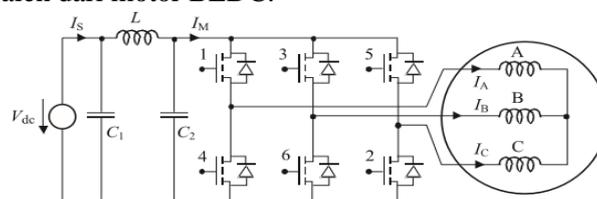
Pengaturan kecepatan motor BLDC juga dapat dilakukan dengan memanfaatkan kontroler PID klasik dan kontroler logika fuzzy guna membuat sistem menjadi semakin stabil. Di antara dua jenis metode fuzzifikasi yaitu. Sugeno dan mamdani, metode penyetelan mamdani sangat cocok. Nilai sudut theta diberikan sebagai sinyal gerbang untuk motor BLDC. Kontroler umpan balik terhubung langsung ke inverter untuk menemukan kesalahan yang langsung diberikan sebagai input ke motor BLDC untuk mendapatkan kecepatan output yang diinginkan[3]. Dalam penelitian yang lain membahas terkait pemantauan hasil pengaturan kecepatan yang dilakukan secara online dengan memanfaatkan teknologi *internet of think* (IoT) [4].

Dalam penelitian ini, metode optimasi yang digunakan guna meningkatkan performa dalam pengaturan kecepatan motor adalah dengan PID-*firefly*. Dimana PID (Proportional-Integral-Derivative controller) adalah salah satu metode kontrol konvensional yang banyak dipakai pada dunia industri. Dimana dalam PID terdapat 3 (tiga) parameter yang harus ditentukan secara tepat dalam penentuan nilainya. Tiga parameter tersebut adalah K_p yaitu konstanta proporsional yang berlaku sebagai penguat (gain), K_i adalah konstanta integral yang berfungsi guna memperbaiki respon steady state, dan K_d adalah konstanta derivatif dapat meminimalkan efek overshoot guna mencapai kondisi steady-state. Dengan algoritma *firefly* akan didapatkan parameter nilai K_p , K_i , dan K_d yang kemudian digunakan sebagai inputan PID.

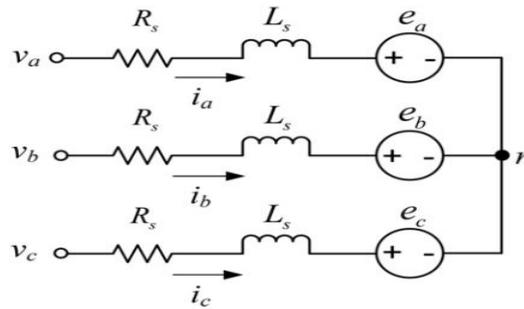
TINJAUAN PUSTAKA

Motor BLDC

Motor Motor BLDC memiliki karakteristik yang unik, karena di suplai oleh sumber tegangan DC yang kemudian oleh inverter tegangan DC dirubah menjadi tegangan AC. Karena motor BLDC itu berupa motor listrik sinkron AC 3 fasa. Untuk dapat mengendalikan kecepatan motor BLDC, maka harus memodelkan motor BLDC dalam bentuk model matematika. Karena Pemodelan adalah dalah satu konsep utama dalam sistem kendali yang berdasarkan pada *transfer function*. Gambar 1 memperlihatkan Blok diagram motor BLDC secara sederhana. Gambar 2 menjelaskan rangkaian ekuivalen dari motor BLDC.



Gambar 1. Blok diagram motor BLDC[1]



Gambar 2. rangkaian ekivalen motor BLDC[5]

Persamaan tegangan dari gambar 2 adalah

$$V_{dc} = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_1 - e_2 \quad (1)$$

Energy magnetic field (EMF) yang dihasilkan melintasi dua fase pembawa arus sebanding dengan kecepatan motor. Sehingga Persamaan tegangan dari motor BLDC motor adalah:

$$V_{dc} = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + K_b \omega \quad (2)$$

Persamaan torsi elektromagnetik dari motor BLDC motor seperti pada persamaan:

$$T_e = K_b I_a \quad (3)$$

Torsi beban dianggap bervariasi dengan kecepatan motor

$$T_L = K_T \omega \quad (4)$$

Persamaan mekanik dari rotor:

$$T_e - T_L = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega \quad (5)$$

Dari hasil substitusi persamaan

$$K_b I_a - K_T \omega = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega \quad (6)$$

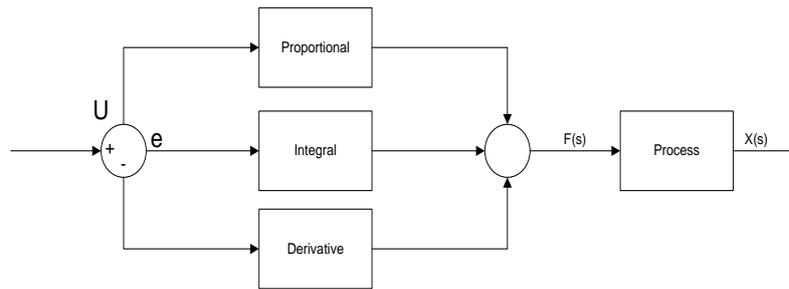
Dimana,

- K_b = EMF konstan motor. Vs/rad (Nm/A)
- ω = Kecepatan mekanik dari rotor, rad/secon
- T_e = Torsi elektrik, Nm
- T_L = Torsi beban, N.m.
- K_T = Torsi beban konstran, N.m.s/rad
- J = momen inersia, $kg\ m^2$
- B = Koefisien gesekan, N m s/rad
- R = Nilai resistansi pada motor (Ω)
- L = Nilai induktansi pada motor (Henry)
- e_1 = GGL Induksi 1
- e_2 = GGL Induksi 2

Kontrol PID

Proporsional - Integral - Derivatif (PID) adalah pengontrol konvensional dapat digunakan untuk mengontrol parameter seperti kecepatan, suhu, aliran, tekanan dan variabel proses lainnya. *Transfer function* dari kontrol PID terdapat pada persamaan (7) dan gambar 3 menunjukkan diagram blok dasar kontrol dengan PID[5]–[7]

$$K_p + \frac{K_s}{s} + K_d s \quad (7)$$



Gambar 3. Block diagram Kontrol PID.

Firefly algorithm

Firefly algorithm (algoritma *firefly*) pertama kali di kemukakan oleh Xin She Yang pada tahun 2008 dan 2010[8]–[10]. *Firefly algorithm* digunakan untuk memecahkan suatu permasalahan tertentu secara sistematis berdasarkan sifat dan karakter kunang-kunang. Dimana setiap kunang-kunang mewakili solusi yang potensial dan terang atau redup kilau yang dihasilkan setiap kunang-kunang sebanding dengan solusi yang diusulkan[11]. Semakin baik solusi yang dihasilkan, maka semakin terang kunang-kunang bersinar dan semakin banyak kunang-kunang mendekat. Blok diagram alur kerja dari algoritma *firefly* dipresentasikan pada gambar (4). Berikut ini beberapa asumsi yang mendasari algoritma *firefly* :

- Semua kunang-kunang tertarik satu sama lain.
- Daya tarik kunang-kunang sebanding dengan kecerahan cahayanya, yang berarti bahwa kunang-kunang yang kurang cerah akan terbang ke arah kunang-kunang yang lebih cerah,
- Daya tarik kunang-kunang berkurang seiring dengan meningkatnya jarak dengan kunang-kunang lainnya.
- Kecerahan cahaya kunang-kunang dipengaruhi oleh fungsi objektif yang akan dioptimalkan.

Terdapat dua faktor penting dalam algoritma *firefly* yaitu kecerahan cahaya kunang-kunang dan daya tariknya. Daya tarik kunang-kunang A terhadap kunang-kunang B tergantung pada:

- Kecerahan cahaya kedua kunang-kunang (kunang-kunang yang bersinar paling terang adalah satu-satunya yang menarik),
- Koefisien penyerapan cahaya γ ,
- Jarak antara kunang-kunang r .

$$\beta = \beta_0 \cdot \exp(-\gamma \cdot r^m) \quad (8)$$

β_0 = Nilai koefisien dasar ($r=0$)

γ = Koefisien penyerapan cahaya

r = Jarak antara *firefly* A dan *firefly* B

m = Jarak eksponen

Berdasarkan persamaan (8) diketahui bahwa daya tarik kunang-kunang menurun berbanding lurus dengan jarak m . Jarak antara dua kunang-kunang A dan B ditentukan oleh persamaan (9).

$$r = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_B(i) - x_A(i))^2} \quad (9)$$

Di mana k adalah jumlah variabel keputusan.

Pergerakan dari *firefly* A dipengaruhi oleh *firefly* B yang ditentukan berdasarkan persamaan (10).

$$X_{A_{new}} = X_A + \beta \cdot r \cdot \text{rand}(0,1) \cdot (X_B - X_A) + \alpha \cdot r \cdot \text{rand}(-1,1) \cdot (\max - \min) \quad (10)$$

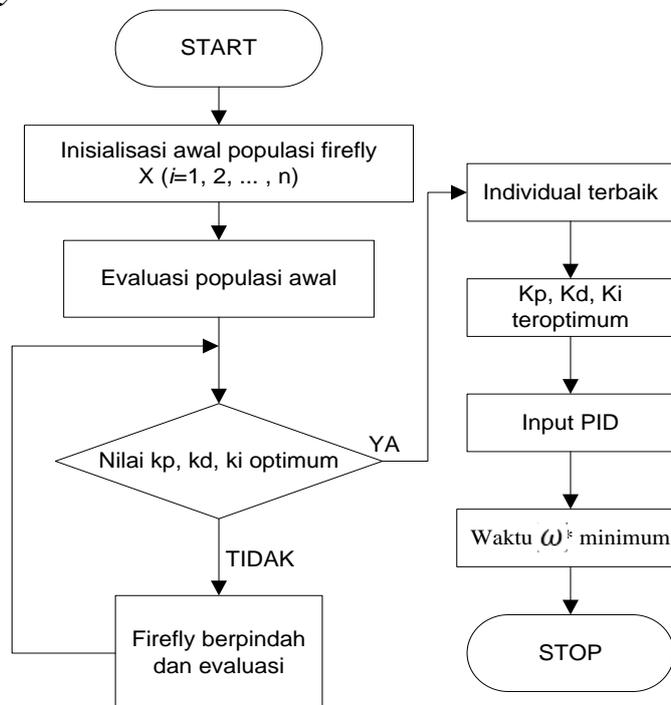
Dimana:

X_A = posisi *firefly*

- X_{Anew} = potensi posisi baru dari *firefly*
 X_n = posisi terbaik dari *firefly*, yang dipengaruhi oleh perubahan posisi dari *firefly* A
 $rand(a,b)$ = nilai random dengan range antara a dan b
 α = koefisien mutasi
 max, min = nilai maksimum dan minimum dari variabel tujuan

METODE

Metode yang digunakan untuk pengaturan kecepatan Motor BLDC agar motor dapat lebih cepat dalam mencapai kecepatan sinkronnya adalah PID-*firefly*. Pada tahap awal, algoritma *firefly* akan bekerja untuk menghasilkan output berupa nilai Kp, Ki, dan Kd paling optimum. Kemudian hasil output dari algoritma *firefly* akan dipergunakan sebagai input dalam penentuan parameter Kp, Ki, dan Kd pada PID. Gambar 4 menjelaskan tentang blok diagram yang digunakan untuk pengaturan kecepatan motor BLDC dengan PID-*firefly*.



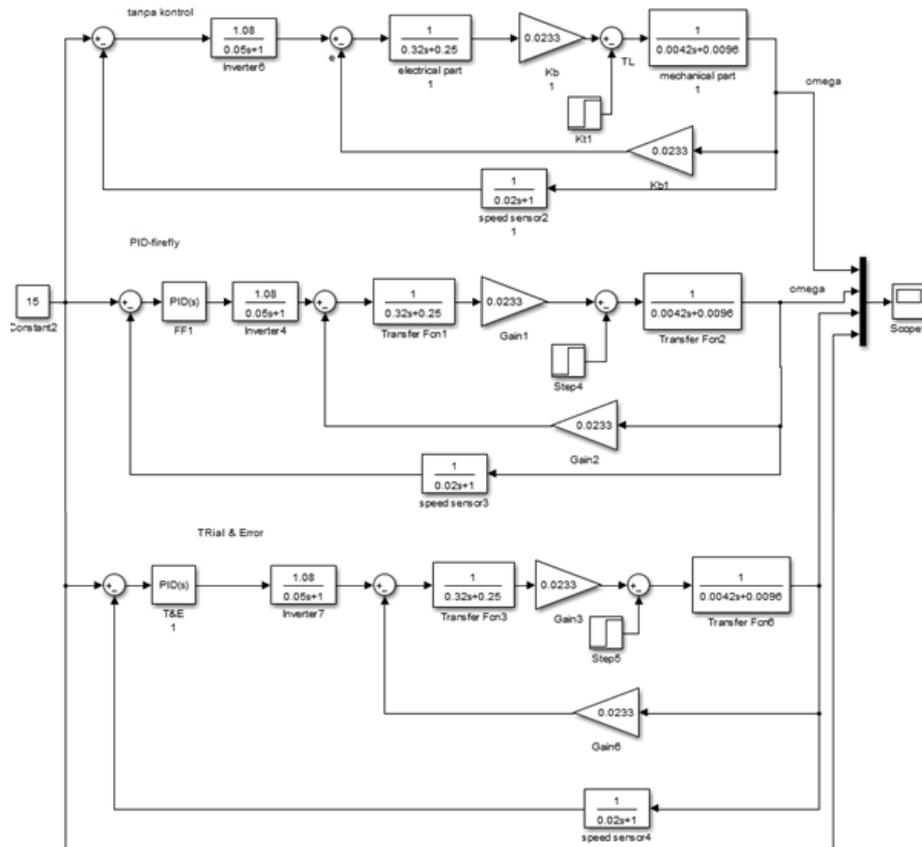
Gambar 4. Block diagram pengaturan kecepatan Motor BLDC dengan PID-*firefly*

HASIL DAN PEMBAHASAN

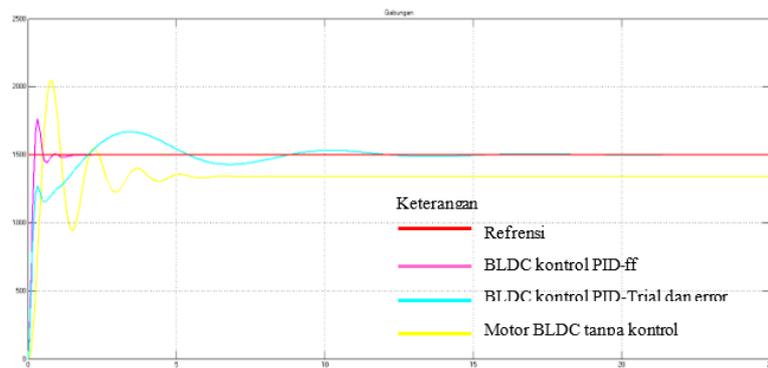
Pengaturan kecepatan motor *brushless* DC dengan kontrol PID-*firefly*, simulasi dilakukan pada *simulink Matlab* R2014a. Parameter motor yang digunakan terdapat pada tabel 1. Dalam kontrol kecepatan motor BLDC dengan PID dilakukan dalam tiga studi kasus. Pada studi kasus yang pertama adalah kondisi ketika motor BLDC tanpa kontrol, studi kasus kedua yaitu motor BLDC dikontrol namun dengan *Trial and error* dalam menentukan nilai Kp, Ki, Kd. Parameter penentuan nilai Kp, Kd, dan Ki secara *Trial and error* dalam penelitian ini masing-masing adalah 0.2, 0.5, dan 0.4. Parameter yang ada pada tabel 1 dimasukkan kedalam gambar 5. Studi kasus ketiga atau yang terakhir adalah dengan menggunakan *firefly* dalam mencari nilai Kp, Ki, Kd sebagai inputan di PID dalam mengatur kecepatan motor BLDC. Hasil simulasi ketiga studi kasus disajikan dalam gambar 7.

Tabel 1. Parameter motor

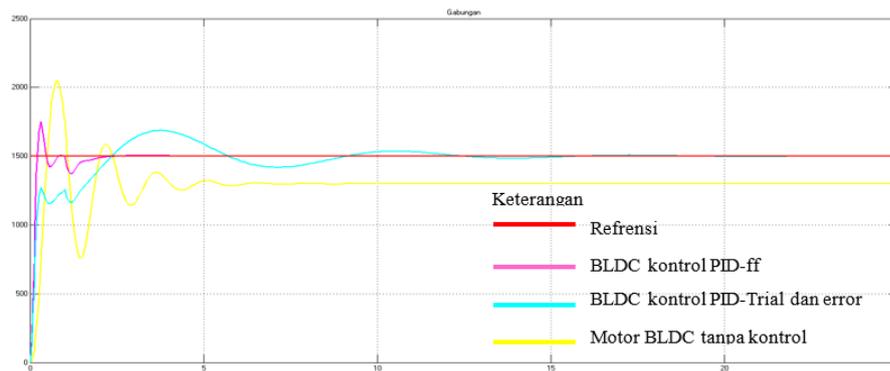
Rating	Symbol	Value	Satuan
DC Resistance	R	0.25	Ω
Inductance	L	0.32	mH
Rated Voltage	V	15	V
Rotor Inertia	J	0.0042	Kg.m^2
Friction Coefficient	B_v	0.0096	N.M.S
Power	P	472	w
Rated current	I	43.5	A
Number of pole	8		



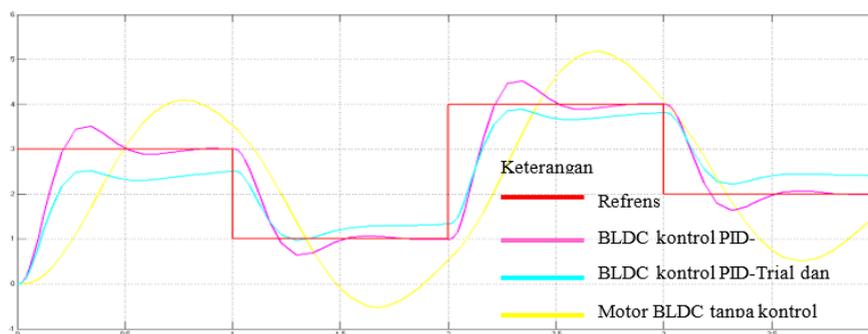
Gambar 5. Blok diagram motor BLDC tanpa kontrol, PID - *trial & error* dan PID - *firefly*



Gambar 6. Hasil simulasi blok diagram motor BLDC saat kondisi tanpa beban dengan kontrol PID - *trial & error*, PID - *firefly* dan tanpa kontrol



Gambar 7. Hasil *running* simulasi blok diagram kendali kecepatan motor BLDC saat kondisi berbeban dengan kontrol PID - *trial & error*, PID - *firefly* dan tanpa kontrol



Gambar 8. Hasil *running* simulasi blok diagram kendali kecepatan motor BLDC dengan variabel input dengan tanpa kontrol, kontrol PID- *trial & error* dan kontrol PID- *firefly*

Hasil *running* blok diagram kendali kecepatan motor BLDC kondisi tanpa pembebanan dipresentasikan pada gambar 6. Dimana pada studi kasus yang pertama yaitu pada kondisi motor BLDC tanpa kontrol. Dari hasil *running* diketahui sinyal output kecepatan (ω) tidak dapat mencapai kecepatan refrensi atau nilai *set point* (ω^*). Sedangkan hasil *running* dari blok diagram kontrol kecepatan motor BLDC dengan PID-*trial and error* dalam menentukan K_p , K_i dan K_d diketahui bahwa sinyal output kecepatan (ω) dapat mencapai *steady state* sesuai nilai refrensi kecepatan atau *set poin* (ω^*) yang diinginkan. Namun dibutuhkan waktu yang lebih lama dalam mencapai titik *steady* yaitu pada detik ke 18. Berbeda dengan studi kasus yang ke tiga yaitu saat kendali kecepatan motor BLDC dengan PID-*firefly*. Berdasarkan gambar 6 dapat diketahui bahwa kontrol kecepatan motor BLDC dengan PID - *firefly* efektif untuk mengetahui nilai K_p , K_i dan K_d sebagai inputan PID dan waktu yang dibutuhkan mencapai *set poin* (ω^*) kurang dari 1 detik. Sehingga diketahui PID-*firefly* lebih efektif dalam kendali kecepatan motor BLDC dibandingkan dengan PID trial dan error. Hal yang sama juga terjadi ketika motor BLDC mendapatkan pembebanan.pada detik ke 0.5 seperti yang ditampilkan pada gambar 7. Dimana terdapat lonjakan sinyal indikasi kecepatan pada detik 0.5 yang kemudian mencapai titik *steady state* pada detik ke 3 jika menggunakan PID-*firefly* sebagai kontrol kecepatan motor BLDC. Variasi dari input kecepatan motor BLDC dapat diadaptasi dengan cepat dengan menggunakan kontrol kecepatan motor dengan PID-*firefly* sehingga dihasilkan sinyal output dengan kontrol PID-ff dapat menyesuaikan dengan perubahan tersebut. Hal ini berbeda saat motor dc tanpa kontrol dan motor BLDC dengan kontrol PID-trial dan error. Hasil simulasi tanpa kontrol dijelaskan seperti pada gambar 8.

KESIMPULAN

Dari hasil membaca beberapa referensi pengaturan kecepatan motor BLDC dan mensimulasikannya dalam simulik matlab 2014.a dapat disimpulkan bahwa kontrol PID dengan

trial & error untuk penentuan nilai K_p , K_i dan K_d tidak disarankan. Karena ketidak tepatan dalam penentuan nilai kontanta di PID dan dapat mengakibatkan lamanya mencapai kecepatan yang diinginkan. Kontrol kecepatan PID pada motor BLDC dengan algoritma firefly untuk mendapatkan K_p , K_i , dan K_d didapatkan waktu yang cepat untuk mencapai kecepatan yang di inginkan. Hal itu telah di uji dengan perubahan pembebanan dan perubahan input.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sharma, H. Negi, and D. Punetha, "Adaptive speed control of BLDC motor with effective starting and minimized cost and core loss," in *2016 International Conference on Advances in Computing, Communication, & Automation (ICACCA) (Spring)*, Dehradun, India, Apr. 2016, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICACCA.2016.7578885.
- [2] W. Pribadi and P. Perkeretaapian, "Sistem Kontrol Motor Dc Brushless Dengan Fix Frequency Hybrid Fuzzy Logic Controller," p. 4, 2019.
- [3] S. Triwijaya, A. Darmawan, A. Pradipta, and D. A. Feriando, "Cable Car Speed Control Using Programmable Logic Control Based on Fuzzy Logic," *J. Electron. Electromed. Eng. Med. Inform.*, vol. 2, no. 3, pp. 125–129, Oct. 2020, doi: 10.35882/jeeemi.v2i3.7.
- [4] N. H. Rohiem and N. P. U. Putra, "Sistem Monitoring Kecepatan Motor dan Tekanan pada Saluran Air Berbasis Internet of Things (IoT)," p. 7.
- [5] P. Suganthi, S. Nagapavithra, and S. Umamaheswari, "Modeling and simulation of closed loop speed control for BLDC motor," in *2017 Conference on Emerging Devices and Smart Systems (ICEDSS)*, Mallasamudram, Tiruchengode, India, Mar. 2017, pp. 229–233. doi: 10.1109/ICEDSS.2017.8073686.
- [6] L. Li and D. Jia, "Research on Air Conditioning System of Subway Station Based on Fuzzy PID Control," in *2017 4th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, Changsha, Jul. 2017, pp. 1131–1134. doi: 10.1109/ICISCE.2017.235.
- [7] B. B. Wicaksono and T. Wati, "Load Frequency Control in Single-Area Power System Using Integral Control and Proportional Integral," vol. 2, no. 1, p. 4, 2020.
- [8] R. Klempka and B. Filipowicz, "Optimization of a DC Motor Drive Using a Firefly Algorithm," in *2018 International Symposium on Electrical Machines (SME)*, Andrychów, Jun. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/ISEM.2018.8442512.
- [9] Y. Prasetyo, A. C. Arifin, and T. Multazam, "Analisis Rekonfigurasi Dan Penempatan Kapasitor Untuk Meminimalkan Deviasi Tegangan Pada Sistem Distribusi," vol. 01, no. 02, p. 10, 2018.
- [10] Z. Xiaozhao, X. Wei, Z. Qi, and W. Tao, "Application research for high-speed railway traffic intelligent rescheduling based on chaotic firefly algorithm," in *2018 33rd Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)*, Nanjing, May 2018, pp. 258–263. doi: 10.1109/YAC.2018.8406382.
- [11] Prasetyo, Yuli, Penangsang, O., Soeprijanto, Adi., D.F. Uman and Y. Anugerah, "Reconfiguration of Distribution Network for Minimizing Losses and Improving Voltage Stability Index Using Binary Firefly Algorithm", *Journal of Engineering and Applied Sciences* 11(11): 2366-2371, 2016.