

# Perancangan dan Simulasi Kendali Kecepatan Motor BLDC dengan Metode PID Menggunakan Teknik Tanpa Sensor Berbasis Simulink MatLab

Nurizka Fitra Maula<sup>1</sup>, Sofian Yahya<sup>2</sup>, Sofyan Muhammad Ilman<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559

<sup>1</sup>E-mail : nurizka.fitra.toi20@polban.ac.id

<sup>2</sup>E-mail : sofyanahya@polban.ac.id

<sup>3</sup>E-mail : sofyan.muhammad@polban.ac.id

## ABSTRAK

Motor tanpa sikat arus searah merupakan salah satu jenis motor arus searah yang biasa diaplikasikan pada beberapa jenis sektor seperti industri dan transportasi karena mempunyai kinerja yang andal. Namun, pengendalian motor BLDC pada umumnya masih menggunakan sensor *hall-effect* sehingga memiliki beberapa kekurangan seperti biaya sensor yang tinggi, dimensi motor yang lebih besar, dan error yang terjadi akibat kegagalan sensor. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dibuat perancangan simulasi perangkat lunak sistem pengendalian motor BLDC dengan daya 350W dan tegangan 48V menggunakan teknik tanpa sensor (*sensorless*). Hasil penelitian ini yaitu simulasi pengendalian kecepatan motor BLDC menggunakan metode PID dan teknik tanpa sensor ini dapat berjalan dengan stabil pada *setpoint* kecepatan 250 rpm.

### Kata Kunci

BLDC, tanpa sensor, PID

## ABSTRACT

*Direct current brushless motor is one type of direct current motor that is commonly applied in several types of sectors such as industry and transportation because it has reliable performance. However, BLDC motor control in general still uses hall-effect sensors so that it has several disadvantages such as high sensor costs, larger motor dimensions, and errors that occur due to sensor failure. Therefore, this research will design a software simulation of BLDC motor control system with 350W power and 48V voltage using sensorless technique. The result of this research is a simulation of BLDC motor speed control using the PID method and sensorless technique can run stably at a setpoint speed of 250 rpm.*

### Keywords

BLDC, sensorless, PID

## 1. PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini, motor BLDC banyak digunakan pada beberapa sektor khususnya industri dan transportasi. Penggunaan motor jenis ini dilandasi beberapa pertimbangan terutama pertimbangan pada upaya penghematan energi dengan *output* kinerja motor yang lebih andal dibandingkan dengan jenis motor lain. Hal ini juga didukung dengan perkembangan kendaraan listrik yang menggunakan motor BLDC sebagai mesin penggerak utama. Penelitian mengenai kecenderungan masyarakat dalam intensi memiliki ataupun menggunakan moda

transportasi berbasis motor listrik juga menunjukkan hasil yang positif dengan nilai indikator tinggi. Indeks ini menunjukkan bahwa pengaplikasian motor BLDC pada beberapa sektor khususnya transportasi mendapatkan persetujuan dari banyak pihak (1).

Motor BLDC merupakan salah satu jenis motor arus searah. Pada motor BLDC, belitan jangkar ditempatkan pada sisi stator dan magnet permanen ditempatkan pada sisi rotor untuk menghilangkan sikat. Hasilnya, motor BLDC memiliki konfigurasi yang berbeda dengan motor DC lainnya (2). Motor DC tanpa sikat (BLDC) didefinisikan sebagai mesin sinkron permanen dengan posisi rotor sebagai umpan balik. Motor

BLDC umumnya dikendalikan menggunakan daya tiga fase jembatan semikonduktor. Motor BLDC ini membutuhkan sensor posisi rotor berupa sensor *hall-effect* maupun tanpa sensor menggunakan *back-EMF* untuk memulai dan untuk memberikan urutan pergantian yang tepat untuk menyalakan komponen MOSFET/IGBT pada *inverter* (3). Penggunaan sensor *hall-effect* pada motor BLDC untuk mendeteksi posisi rotor mempunyai beberapa kekurangan seperti meningkatkan biaya pengadaan sensor, memperbesar dimensi motor, dan kesalahan dalam pendeteksian posisi rotor akibat kegagalan pada sensor. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, maka teknik tanpa sensor pengendalian kecepatan motor BLDC dengan mengeliminasi penggunaan sensor *hall-effect* dapat menjadi opsi yang dapat dipilih (4).

Penerapan pengendalian kecepatan motor BLDC menggunakan teknik tanpa sensor maupun dengan sensor *hall-effect* dapat dilakukan pada sebuah perangkat lunak berupa sebuah simulasi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui gambaran yang akan diperoleh nantinya ketika pengaplikasian pada perangkat keras (5). Pengendalian kecepatan motor BLDC dapat dilakukan dengan beberapa metode dan pendekatan. Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu metode FOPID dengan pendekatan algoritma kelelawar (*bat algorithm*). Penelitian ini menunjukkan hasil yang optimal beserta peningkatan efisiensi dalam performa transien motor BLDC sehingga nilai *steady state error* dapat dikurangi (6). Pemodelan simulasi serupa juga dilakukan menggunakan MATLAB/Simulink untuk mengetahui respon kecepatan motor BLDC, tegangan *back-EMF*, torsi, dan arus fase stator. Penelitian ini menghasilkan pengendalian kecepatan motor BLDC yang optimal menggunakan metode PI dan PID (7). Penggunaan metode PID pada pengendalian kecepatan motor BLDC menjadi salah satu metode kendali yang cukup baik untuk digunakan ditambah dengan penggunaan metode lain sehingga pengendalian kecepatan motor BLDC dilakukan dengan metode hibrida seperti metode MGA-PID dengan memanfaatkan metode PID digabungkan dengan algoritma genetika termodifikasi. Gabungan metode ini menghasilkan performa yang baik terutama pada indeks seperti *root mean square error*, *integral absolute error*, dan *integral squared error* (8). Selain penggunaan metode hibrida pada pengendalian kecepatan motor BLDC, metode PID adaptif juga dapat diaplikasikan pada pengendali kecepatan. Penggunaan metode ini dapat meningkatkan efisiensi pada pengendalian

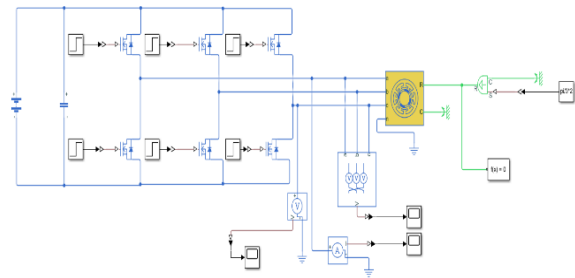
kecepatan motor BLDC meskipun masih harus ditambahkan *filter* untuk mengurangi *noise* yang terjadi (9). Dengan demikian, pada pengendalian kecepatan motor BLDC seharusnya diberi tambahan *filter* dan pengoreksi faktor daya agar dapat menghasilkan sinyal keluaran yang lebih baik (10). Jika hasil simulasi pada MATLAB/Simulink bekerja dengan baik maka penelitian dapat dilanjutkan dengan aplikasi langsung pada perangkat keras motor BLDC dengan *driver* yang terdiri dari enam buah MOSFET/IGBT sebagai penggerak daya dari motor BLDC (11).

Pada penelitian ini, penulis melakukan perancangan dan simulasi pengendalian kecepatan motor BLDC dengan metode PID menggunakan teknik tanpa sensor berbasis perangkat lunak Simulink. Tujuan penelitian ini yaitu untuk membuat simulasi kendali kecepatan motor BLDC menggunakan teknik tanpa sensor dengan nilai *setpoint* pada kecepatan 250 rpm dengan nilai tegangan masukan DC 48V. Komponen penggerak daya yang digunakan yaitu menggunakan 6 buah MOSFET.

## 2. METODE PENELITIAN

Perancangan sistem kendali kecepatan motor BLDC dilakukan dengan membuat inverter dengan 6 buah MOSFET dengan sumber tegangan DC 48V, membuat rancangan pembacaan tegangan *back-EMF*, dan setelah itu sistem diintegrasikan keseluruhan.

### 2.1 Perancangan Inverter

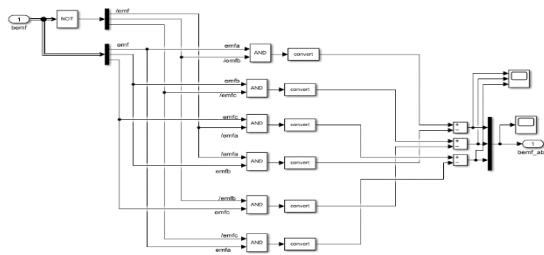


Gambar 1. Rancangan *Inverter* Motor BLDC

Gambar 1 di atas menunjukkan rancangan inverter motor BLDC pada simulink. *Inverter* Motor BLDC merupakan rangkaian *driver* untuk menggerakkan motor BLDC dengan sistem pergantian (*switching*) pada setiap MOSFET sehingga fase yang diberi suplai dapat berganti sesuai dengan estimasi posisi dari rotor motor

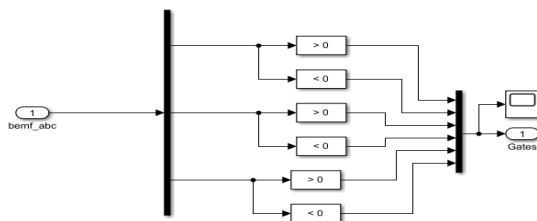
BLDC. Biasanya cara kerja dari *inverter* ini yaitu dengan komutasi enam langkah dengan menyuplai fase AB, fase AC, fase BA, fase BC, fase CA, dan fase CB secara bergantian. Dengan suplai tegangan DC sebesar 48V dan asumsi daya motor sebesar 350W, maka dibutuhkan jenis MOSFET yang memiliki nilai  $V_{DS}$  lebih besar dan diutamakan bernilai dua kali dari nilai tegangan suplai 48V sehingga memiliki nilai  $V_{DS}$  sebesar 100V. Selain itu, MOSFET ini juga harus memiliki nilai  $I_D$  yang mumpuni dengan nilai lebih besar dari 10A.

## 2.2 Perancangan Pembacaan Tegangan *Back-EMF*



Gambar 2. Rancangan Pembacaan Tegangan *Back-EMF*

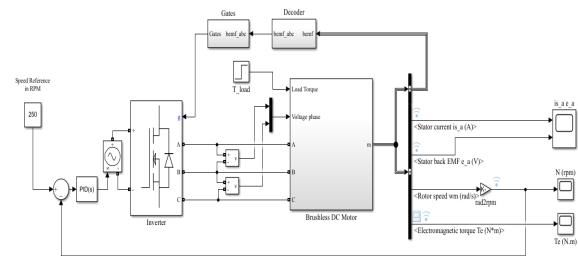
Pada Gambar 2 di atas perancangan pembacaan tegangan *back-EMF* ini prinsipnya hampir sama seperti perancangan pembacaan pada sensor *hall-effect*. Perbedaannya hanya pada pembacaan tegangan pada setiap fase motor BLDC bukan langsung membaca tegangan dari medan magnet yang terukur oleh sensor *hall-effect*.



Gambar 3. Rancangan Logika Pembacaan *Back-EMF*

Setelah merancang pembacaan tegangan *back-EMF* langkah selanjutnya yaitu membuat logika pembacaan *back-EMF* seperti Gambar 3 di atas sehingga didapatkan keluaran berupa fase mana saja yang akan disuplai oleh MOSFET.

## 2.3 Perancangan Sistem Keseluruhan



Gambar 4. Rancangan Sistem Keseluruhan

Pada Gambar 4 yang merupakan rancangan sistem keseluruhan, sistem diintegrasikan satu sama lain mulai dari *inverter*, rancangan pembacaan tegangan *back-EMF*, dan ditambahkan kendali PID. Pada perancangan untuk simulasi ini kendali PID menggunakan parameter PID yang masih acak dengan rincian sebagai berikut.

$$P = 3.13$$

$$I = 2.75$$

$$D = 0.00012$$

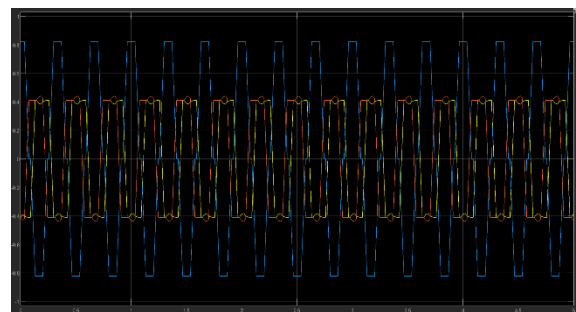
Selain itu, untuk nilai *setpoint* kecepatan motor BLDC diatur pada nilai 250 rpm. Sementara itu untuk MOSFET pada inverter diatur dengan nilai sebagai berikut.

$$R_{DS(ON)} = 0.036 \Omega$$

$$C = 1\text{mF}$$

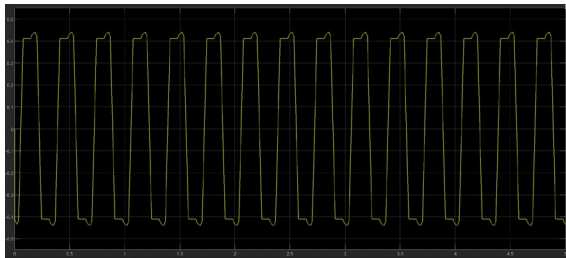
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah semua sistem terintegrasi dan dirancang sesuai dengan parameter-parameter yang telah ditentukan, langkah selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mengetahui respon dari rancangan kendali kecepatan motor BLDC dengan metode PID menggunakan teknik tanpa sensor.

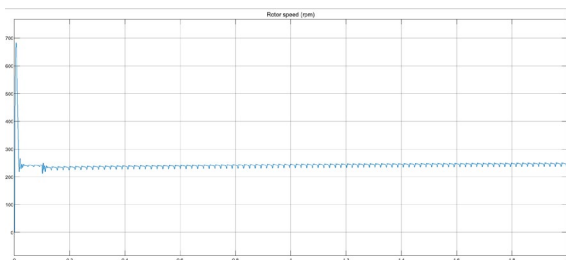


Gambar 5. Respon Tegangan *Back-EMF*

Pada Gambar 5 di atas, dapat dilihat respon tegangan *back-EMF* dari simulasi kendali yang dilakukan. Garis berwarna kuning dan jingga merupakan tegangan *back-EMF* fase B dan C yang digabungkan dan diberi rangkaian pembagi tegangan dengan nilai resistansi yang lebih besar dibandingkan dengan pembacaan tegangan pada satu fase saja. Dengan demikian, semisal ketika nilai suatu fase baik fase A, B, atau C seperti pada Gambar 6 (sebagai contoh fase A) lebih besar atau lebih kecil, maka hal tersebut dapat menjadi acuan untuk logika pembacaan tegangan *back-EMF* sehingga dapat mengetahui posisi rotor dan fase mana saja yang harus disuplai oleh MOSFET.

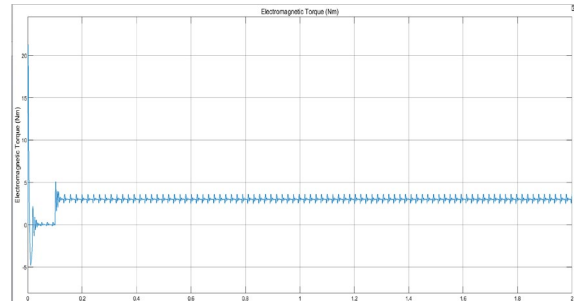


Gambar 6. Tegangan *Back-EMF* pada Fase A



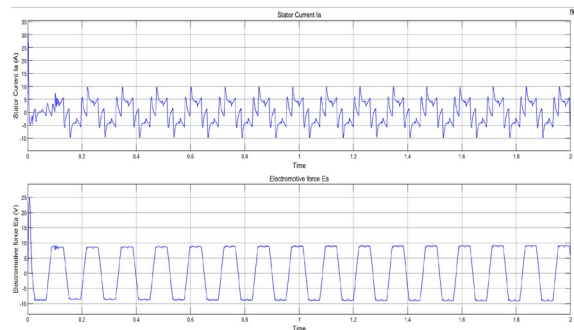
Gambar 7. Kecepatan Rotor Motor BLDC

Sementara itu, pada Gambar 7 di atas, dapat dilihat respon kecepatan motor BLDC pada *setpoint* 250 rpm. Kecepatan mengalami *overshoot* hingga mencapai hampir 700 rpm karena pada simulasi ini motor BLDC tidak dapat diatur spesifikasi kecepatan nominal pada motor BLDC sehingga terjadi *overshoot* berlebih. Namun, kecepatan kembali kepada *setpoint* karena kendali kecepatan PID motor BLDC dan stabil pada rentang *setpoint* tersebut. Hal ini juga berlaku pada torsi motor BLDC seperti pada Gambar 8 sehingga nilai torsi awal cenderung mengalami peningkatan. Setelah itu, torsi mengalami penurunan dan kenaikan lagi hingga stabil pada nilai  $\pm 3\text{Nm}$  pada kecepatan 250 rpm.



Gambar 8. Torsi motor BLDC

Sementara itu, pada Gambar 9 dapat diketahui juga nilai tegangan *back-EMF* termasuk juga arus stator yang mengalir pada fase A motor BLDC. Pembacaan tegangan *back-EMF* ini menjadi penentu fase mana yang harus disuplai oleh inverter sesuai dengan logika pembacaan *back-EMF* sedangkan untuk pembacaan arus stator biasanya digunakan pada metode *driving* lain selain menggunakan umpan balik tegangan *back-EMF*.



Gambar 9. Arus Stator dan Tegangan *Back-EMF*

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, dapat diperoleh kecepatan konstant motor BLDC cenderung sesuai dengan *setpoint* yang telah ditentukan pada nilai 250 rpm meskipun terdapat *overshoot* pada awal *starting* motor BLDC. Pada simulasi ini juga telah berhasil dalam menentukan posisi rotor berdasarkan tegangan *back-EMF* yang terukur sehingga motor dapat berputar dengan sesuai. Selain itu, teknik kendali dan komutasi tanpa sensor motor BLDC ini juga berhasil disimulasikan sehingga ketika nantinya diimplementasikan pada perangkat keras, maka sistem ini diharapkan dapat berjalan semestinya dengan beberapa penyesuaian.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung melalui Wakil Direktur bidang akademik yang telah memberikan bantuan Pembiayaan Penelitian Mahasiswa Program Diploma-IV/Sarjana Terapan dan Diploma-III tahun akademik 2023/2024 sesuai dengan SK Direktur Nomor B/295/PL1/HK.02.00/2024.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Reza Bastari Imran Watimea MSRSM. Pertimbangan Pelanggan Terhadap Keinginan Membeli (Purchase Intention) Motor Listrik. *JPTD*. 2022 Jun 27;24(1):21–7.
2. Kim SH. Brushless direct current motors. In: *Electric Motor Control* [Internet]. Elsevier; 2017 [cited 2023 Oct 24]. p. 389–416. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128121382000106>
3. Rambabu S. Master of Technology In Power Control and Drives.
4. Scelba G, De Donato G, Pulvirenti M, Giulii Capponi F, Scarcella G. Hall-Effect Sensor Fault Detection, Identification, and Compensation in Brushless DC Drives. *IEEE Trans on Ind Applicat*. 2016 Mar;52(2):1542–54.
5. Keyhani A, Marwali MN, Higuera LE, Athalye G, Baumgartner G. An Integrated Virtual Learning System for the Development of Motor Drive Systems. *IEEE Power Eng Rev*. 2002 Jan;22(1):67–8.
6. Vanchinathan K, Valluvan KR. A Metaheuristic Optimization Approach for Tuning of Fractional-Order PID Controller for Speed Control of Sensorless BLDC Motor. *J CIRCUIT SYST COMP*. 2018 Jul;27(08):1850123.
7. Usha S, Dubey PM, Ramya R, Suganyadevi MV. Performance enhancement of BLDC motor using PID controller. *IJPEDS*. 2021 Sep 1;12(3):1335.
8. Vanchinathan K, Valluvan KR, Gnanavel C, Gokul C. Design methodology and experimental verification of intelligent speed controllers for sensorless permanent magnet Brushless DC motor: Intelligent speed controllers for electric motor. *Int Trans Electr Energy Syst* [Internet]. 2021 Sep [cited 2024 Jul 10];31(9). Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2050-7038.12991>
9. Mahmud M, M. S, H. A, Nurashikin A, K.M. A. Modeling and Performance Analysis of an Adaptive PID Speed Controller for the BLDC Motor. *IJACSA* [Internet]. 2020 [cited 2024 Jul 10];11(7). Available from: <http://thesai.org/Publications/ViewPaper?Volume=11&Issue=7&Code=IJACSA&SerialNo=36>
10. Bin L, Abdeen ZU, Abrar M, Abdul Muqet H, Shahzad M, Zulfiqar M, et al. A novel approach to design of a power factor correction and total harmonic distortion reduction-based BLDC motor drive. *Front Energy Res*. 2023 Jan 10;10:963889.
11. Qudsi OA. Desain dan Implementasi Six-Step Comutation pada Sistem Kontrol Motor BLDC 1,5 kW. 2017;3.