

PENGATURAN KECEPATAN MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT* (BLDC) MENGGUNAKAN METODE *FIELD ORIENTED CONTROL* (FOC)

Nurdamayanti^{1*}, Linda Sartika², Abdul Muis Prasetya³

^{1,2,3} Teknik Elektro, Teknik, Universitas Borneo Tarakan, Kalimantan Utara

nurdamayanti29@gmail.com*

*corresponding author

ABSTRACT

Brushless DC motors or commonly known as BLDC motors are starting to be widely used in the automotive and industrial fields compared to three-phase induction motors. This is because the advantages of BLDC motors are high efficiency, large torque, and easy maintenance. Some drive systems that use BLDC motors require a constant motor speed. However, when the drive system is given more load, the speed will decrease. Therefore, we need a motor speed regulation so that the speed becomes constant even though it is given an overload. There are many ways to adjust the speed of a BLDC motor, one of which is using the Field Oriented Control method because it can adjust the field current and armature current separately. From the simulation results, the speed of the BLDC motor using the FOC method in the loaded condition, showed a better response by producing a steady state of 1494 rpm, a rise time of 0.5192 s, a settling time of 0.6362 s while not being given a load, a steady state of 1504 rpm and, a rise time of 0.533 s and a settling time of 0.64 s.

Article Info

Article history

Received:
September 5th, 2022

Revised:
November 28th, 2022

Accepted:
November 30th, 2022

Keywords:

*field-oriented control,
motor BLDC,*

ABSTRAK

Motor *Brushless DC* atau biasa dikenal dengan motor BLDC mulai banyak digunakan pada bidang otomotif dan industri dibandingkan dengan motor induksi tiga fasa. Hal ini disebabkan karena kelebihan dari motor BLDC adalah memiliki efisiensi tinggi, torsi yang besar, dan perawatan mudah. Beberapa sistem penggerak yang menggunakan motor BLDC membutuhkan kecepatan motor yang konstan. Akan tetapi sistem penggerak tersebut ketika diberi beban lebih maka kecepatan akan menurun. Oleh karena itu dibutuhkan suatu pengaturan kecepatan motor agar kecepatan menjadi konstan walaupun diberi beban lebih. Banyak cara untuk mengatur kecepatan motor BLDC salah satunya adalah menggunakan metode *Field Oriented Control* karena dapat mengatur antara arus medan dan arus jangkar secara terpisah. Dari hasil simulasi didapatkan kecepatan motor BLDC menggunakan metode FOC pada kondisi berbeban, menunjukkan respon yang lebih baik dengan menghasilkan *steady state* yaitu 1494 rpm, *rise time* 0.5192 s, *settling time* 0.6362 s sedangkan tidak diberi beban didapatkan *steady state* sebesar 1504 rpm dan, *rise time* sebesar 0,533 s dan *settling time* sebesar 0,64 s.

PENDAHULUAN

Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) merupakan salah satu jenis motor yang biasa diaplikasikan di industri seperti permobilan, otomasi medis, industri dan peralatan instrumentasi. Motor BLDC tidak menggunakan sikat atau brush untuk komutasinya, tetapi dilakukan secara *electronics commutated*. Motor BLDC digunakan karena mempunyai efisiensi tinggi, torsi tinggi dan volume noise yang rendah. Dibandingkan motor DC konvensional, motor BLDC mempunyai beberapa kelebihan. Kelebihan yang paling utama motor tanpa sikat atau brushless menggunakan bahan semikonduktor untuk mengubah membalik arah putaran motor, putaran motor halus sehingga tingkat kebisingan motor menjadi rendah (Qudsi, dkk, 2019). Motor BLDC memiliki torsi yang lebih rendah dibandingkan dengan motor DC maupun motor induksi (As-Salaf & Syahrial, 2021). Motor BLDC sendiri memiliki kelebihan efisiensi tinggi dan rugi-rugi mekanik yang rendah karena tidak menggunakan sikat seperti motor DC (Wibowo, 2019).

Motor BLDC dibedakan menjadi beberapa jenis seperti *inner rotor* dan *outer rotor*. Pada motor *inner rotor* posisi stator yang merupakan slot berisi belitan berada di bagian luar dari magnet permanen yang berputar pada bagian dalam motor. Sedangkan pada motor *outer rotor*, posisi rotor berada di luar stator sehingga magnet permanen berputar mengelilingi belitan stator. Secara umum, motor outrunner menghasilkan torsi yang lebih besar pada kecepatan lebih rendah karena magnet permanen yang dimiliki lebih banyak.

Beberapa sistem penggerak yang menggunakan motor BLDC membutuhkan kecepatan motor yang konstan. Akan tetapi sistem penggerak tersebut ketika diberi beban lebih maka kecepatan akan menurun. Oleh karena itu dibutuhkan suatu pengaturan kecepatan motor agar kecepatan motor menjadi konstan walaupun diberi beban lebih. Banyak

cara untuk mengatur kecepatan motor BLDC salah satunya adalah menggunakan metode *field oriented control* (FOC) karena dapat mengatur arus medan dan arus jangkar secara terpisah. Permasalahan di atas yang menjadi latar belakang penulis adalah bagaimana mengatur kecepatan motor BLDC agar tetap konstan walaupun diberi beban lebih.

Sistem kerja motor BLDC terdiri dari beberapa komponen utama yaitu baterai, inverter, controller, dan motor BLDC. Baterai berfungsi sebagai sumber tegangan. Tegangan arus searah yang bersumber dari baterai diubah menjadi tegangan 3 fasa arus bolak-balik dengan menggunakan inverter. Hal ini dilakukan karena motor BLDC membutuhkan sumber tegangan 3 fasa arus bolak-balik. Kemudian controller digunakan untuk menghidupkan sakelar pada inverter. Motor BLDC ini dapat bekerja ketika stator yang terbuat dari kumparan diberikan arus 3 fasa. Akibat arus yang melewati kumparan pada stator maka akan timbul medan magnet (Bagia & Parsa, 2018)

Arus yang diberikan berupa arus AC 3 fasa sinusoidal, nilai medan magnet dan polaritas setiap kumparan akan berubah-ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polaritas dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terciptanya medan putar magnet dengan kecepatan.

Field Oriented Control (FOC) adalah suatu metode pengaturan medan pada motor ac dari sistem *coupled* diubah menjadi sistem *decoupled*. Dengan sistem ini arus penguatan dan arus beban motor dapat dikontrol secara terpisah, dengan demikian torsi dan fluksi juga dapat diatur secara terpisah, seperti halnya motor dc (Skuric, dkk, 2022), (Do & Le, 2022). Prinsip dasar dari motor dc adalah dengan menjaga fluks tetap konstan, torsi dapat dikontrol dengan mengontrol arus jangkar (Ferdiansah dkk., 2012)

Pada pengaturan ini, kecepatan dari motor dimonitor oleh suatu sensor, bisa juga menggunakan tachometer. Kecepatan motor diumpunbalikkan kemudian dibandingkan

dengan kecepatan referensi oleh suatu komparator. Bila ada error, kemudian error tersebut menjadi *input* dari controller. Selanjutnya kontroler memberikan sinyal kepada sistem FOC, yang akan diteruskan ke rangkaian penyalan dari inverter untuk mengubah tegangan dan arus motor.

Transformasi clarke digunakan untuk mengubah sinyal tiga fase seperti arus, tegangan, dan fluks dari sistem koordinat tiga fase (a, b, c) menjadi sistem orthogonal koordinat dua fase (d_s, q_s) dan Transformasi park digunakan untuk mengubah sistem ortogonal dua fase (d_s, q_s) menjadi kerangka acuan berputar ($d_e - q_e$).

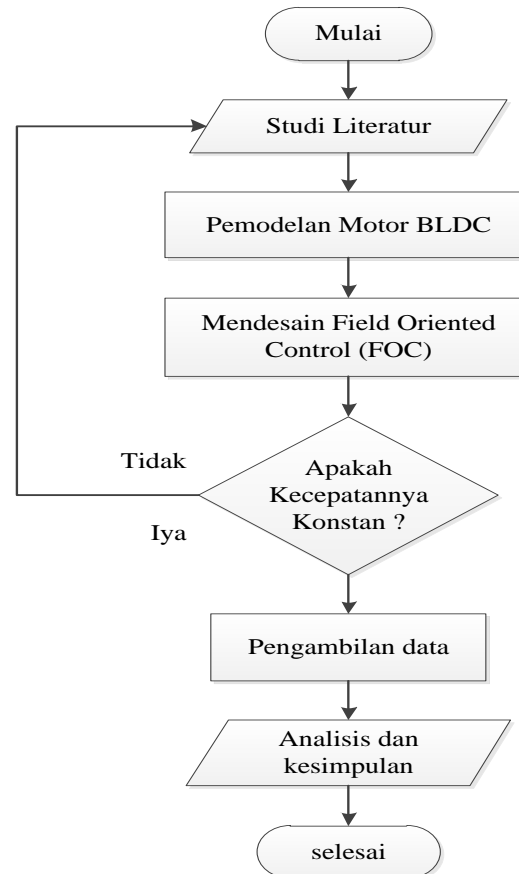
Kontroler PI berguna menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Kontroler PI adalah kontroler konvensional yang banyak dipakai dalam dunia industri.

Komponen kontroler PI terdiri dari dua jenis yaitu proporsional dan integratif. Komponen proporsional dan integral dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant. Apabila pada kontroler proporsional nilai $G(s) = K_p$ maka K_p berlaku sebagai *gainbar* (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Penggunaan kontroler proporsional memiliki berbagai keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dinamik. Walaupun demikian dalam aplikasi-aplikasi dasar yang sederhana kontroler proporsional mampu memperbaiki respon transien khususnya rise time dan settling time. Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan *output*) (Nicola, dkk., 2020).

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan dalam waktu ± 6 bulan. Adapun alat dan bahan

yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat laptop dengan spesifikasi Processor Intel(R) Celeron(R) N4000 CPU @ 1.10 GHz Memory 4.00 GB (3,83 GB *usable*). Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan-tahapan seperti pada Gambar 1 di bawah.

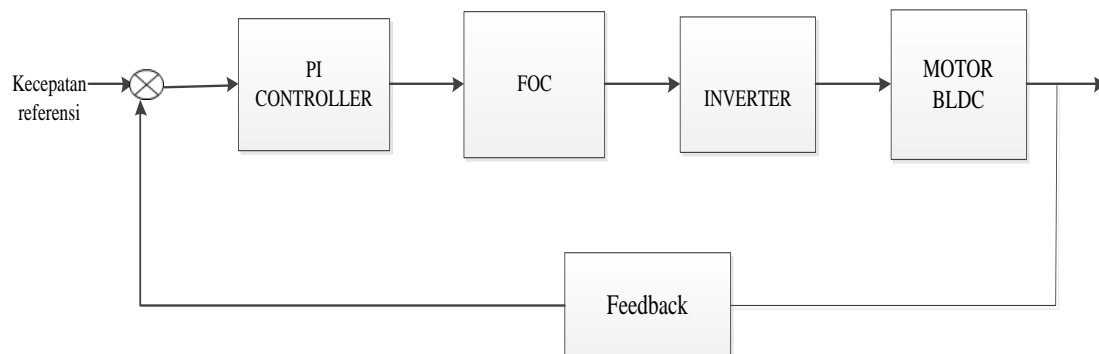


Gambar 1. Flowchart Penelitian

Pada Gambar 2 terdapat 4 komponen utama yaitu motor BLDC, PI controller, FOC, dan PWM inverter. Kecepatan motor diumpankan kemudian dibandingkan dengan kecepatan referensi. Apabila ada *error*, kemudian *error* tersebut diidentifikasi oleh controller PI, selanjutnya controller PI memberikan sinyal kepada sistem *field oriented control* (FOC) dimana pengaturan FOC, disebut juga transformasi clark *input* dari transformasi clark yaitu i_q^*, i_d^*, i_o^* dan sudut *theta* sedangkan untuk *outputnya* yaitu i_{abc}^* . Selanjutnya FOC akan diteruskan ke rangkaian dari inverter yang mengubah tegangan dan arus sehingga diperoleh torsi

yang diinginkan, perubahan torsi ini akan mengubah kecepatan motor sehingga bisa mendekati kecepatan referensi. Semakin tinggi

torsi maka respon motor semakin cepat untuk mencapai kecepatan putar nominal (Fadli, dkk, 2019)

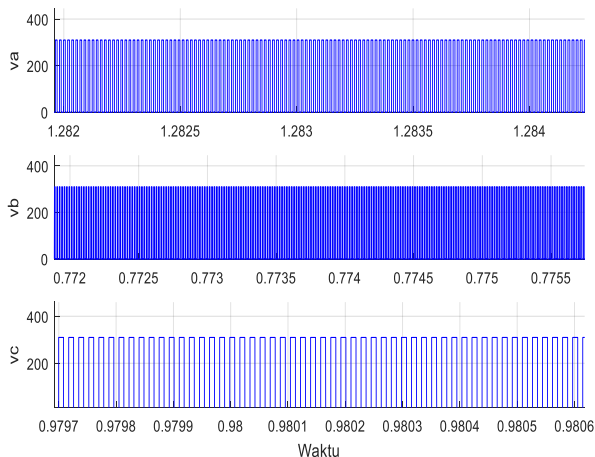


Gambar 2. Diagram Blok

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Respon *Pulse Width Modulator* (PWM) Inverter

Pada percobaan ini *pulse width modulator* (PWM) diuji dengan diberikan tegangan sebesar 300 volt. Hasil dari PWM inverter dapat dilihat pada Gambar 3.



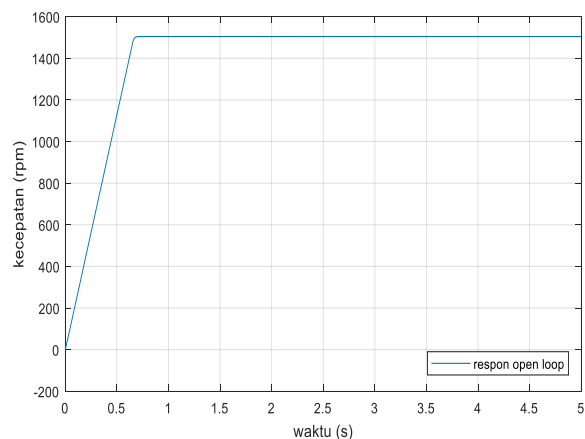
Gambar 3. PWM Inverter

Uji Respon PWM Inverter (V_a, V_b, V_c)

Pada Gambar 3 didapatkan hasil dari v_a dan v_b memiliki *duty cycle* sebesar 10% sedangkan pada v_c memiliki *duty cycle* sebesar 20%, seperti yang kita ketahui semakin tinggi *duty cycle* nya dalam persen maka lebar pulsa juga semakin besar.

Uji Respon Open Loop Sistem Kontrol Kecepatan Motor BLDC

Pada percobaan ini, pengujian *open loop* dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon dari sistem pengaturan kecepatan motor sebelum diberi kontrol. Simulasi *open loop* dilakukan dengan cara diberi *input* tegangan pada motor BLDC.

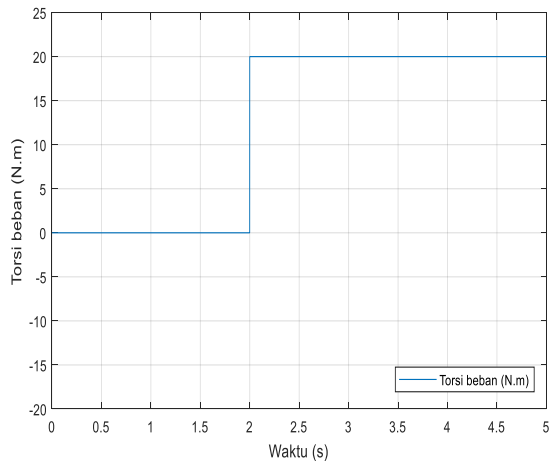


Gambar 4. Respon Kecepatan Motor BLDC

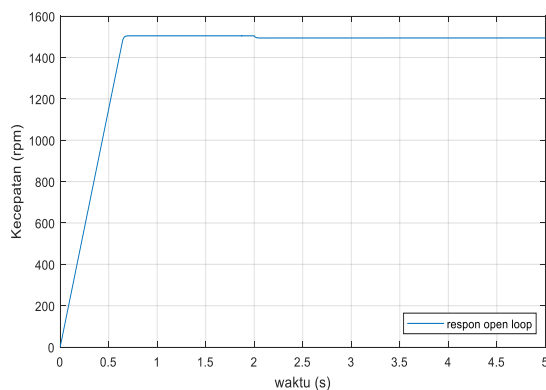
Pada Gambar 4 didapatkan hasil yaitu kecepatan *steady state* dari motor BLDC adalah memiliki nilai rata-rata sebesar 1504 rpm, *rise time* sebesar 0,533 s dan *settling time* sebesar 0,6 s.

Uji Respon Kecepatan Motor BLDC yang Diberi Beban

Kecepatan diatur sebesar 1500 rpm sedangkan torsi beban yang diberikan sebesar 20 N.m.



Gambar 5. Respon Torsi Beban



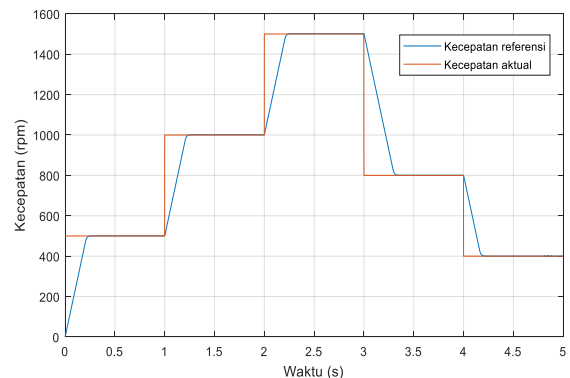
Gambar 6. Respon Kecepatan Motor BLDC Berbeban

Pada Gambar 6 didapatkan bahwa pada detik kedua respon kecepatan motor mengalami penurunan *steady state* yaitu 1494 rpm, *rise time* 0.5192 s, *settling time* 0.6362 s. Hal ini dikarenakan pada detik kedua diberikan beban sebesar 20 N.m.

Uji Respon Kecepatan Referensi dan Kecepatan Aktual

Pada percobaan, kecepatan referensi diuji dengan kecepatan yang bervariasi kecepatan referensi yang diberikan adalah 500 rpm dari 0-1 sekon, 1000 rpm dari 1-2 sekon, 1500 rpm dari 2-3 sekon, 800 rpm dari 3-4 sekon dan 400 rpm dari 4-5 sekon. Hasil dari

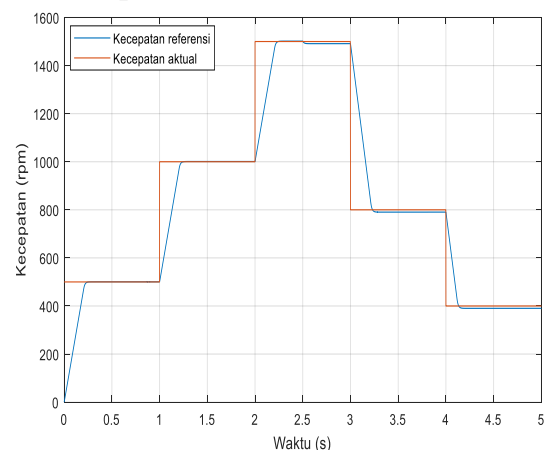
kecepatan referensi yang bervariasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Respon Variasi Kecepatan

Pada Gambar 7 didapatkan bahwa kecepatan aktual dapat mengikuti kecepatan referensi yang diinginkan. Pada detik nol dengan kecepatan referensi 500 rpm *steady state* nya yaitu 509 rpm. Pada detik kedua kecepatan referensi 1000 rpm *steady state* nya yaitu 1002 rpm. Pada detik ketiga dengan kecepatan referensi 1500 *steady state* nya yaitu 1502 rpm dan pada detik keempat kecepatan referensi 800 rpm didapatkan *steady state* nya 800,5 rpm untuk kecepatan referensi 400 didapatkan *steady state* nya 400,2.

Uji Respon Variasi Kecepatan Referensi dan Kecepatan Aktual Berbeban



Gambar 8. Respon Variasi Kecepatan Berbeban

Pada Gambar 8 didapatkan bahwa pada kecepatan referensi variasi berbeban mengalami penurunan *steady state* ini

dikarenakan adanya beban sebesar 20 N.m. Pada kecepatan referensi 500 rpm *steady state* nya yaitu 500,5 rpm, kecepatan referensi 1000 rpm *steady state* nya yaitu 1001 rpm. Pada kecepatan referensi 1500 rpm *steady state* yaitu 1501 rpm, kecepatan referensi 800 rpm didapatkan *steady state* nya 790,7 rpm dan untuk kecepatan referensi 400 rpm didapatkan *steady state* nya yaitu 389,7.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan didapatkan sebagai berikut: pertama, kecepatan motor *Brushless Direct Current* (BLDC) menggunakan metode *Field Oriented Control* (FOC) pada kondisi berbeban, menunjukkan respon yang lebih baik dengan menghasilkan *steady state* yaitu 1494 rpm, *rise time* 0.5192 s, *settling time* 0.6362 s sedangkan tidak diberi beban didapatkan *steady state* sebesar 1504 rpm dan , *rise time* sebesar 0,533 s dan *settling time* sebesar 0,64 s. Kedua, respon variasi kecepatan referensi dan kecepatan aktual untuk kecepatan 400 rpm *error steady statenya* sebesar 0,04%, 500 rpm *error steady statenya* 1,76%, 800 rpm *error steady statenya* 0,06%, 1000 rpm *error steady statenya* 0,19% dan 1500 rpm *error steady statenya* 0,13%. Sedangkan respon variasi kecepatan referensi dan kecepatan aktual yang diberi beban sebesar 20 N.m didapatkan untuk kecepatan 400 rpm *error steady statenya* sebesar 2,64%, 500 rpm *error steady statenya* 0,09%, 800 rpm *error steady statenya* 1,17%, 1000 rpm *error steady statenya* 0,09% dan 1500 rpm *error steady statenya* 0,06%.

DAFTAR PUSTAKA

- As-Salaf, M. H. A., & Syahrial, S. (2021). Simulasi Pengaturan Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Software PSIM. *MIND (Multimedia Artificial Intelligent Networking Database) Journal*, 6 (1), 103-117.
- Bagia, I Nyoman dkk. 2018. *Motor - Motor Listrik*. Kupang: CV Rasi Terbit.
- Do, C. P., & Le, D. K. (2022). Improved of Dynamic Torque by Field Oriented Control based Fuzzy Logic for BLDC Motor. In *2022 7th National Scientific Conference on Applying New Technology in Green Buildings (ATiGB)* (pp. 92-97). IEEE.
- Fadli, M. R., Musyasy, M. M., Furqani, J., & Purwadi, A. (2019). Modelling of field orientation control (FOC) method in 120 kW brushless DC motor (BLDC). In *2019 6th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT)* (pp. 383-389). IEEE.
- Ferdiansah dkk., (2012). Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 ϕ dengan Kontrol PID melalui Metode Field Oriented Control (FOC) (Rectifier, Inverter, Sensor arus dan Sensor tegangan. *Politenik Elektronika Negeri Surabaya - ITS*, 1–5.
- Nicola dkk., (2020). Sensorless Control of PMSM using FOC Strategy Based on Multiple ANN and Load Torque Observer. *2020 15th International Conference on Development and Application Systems, DAS 2020 - Proceedings, June*, 32–37.
- Skuric, A., Bank, H. S., Unger, R., Williams, O., & González-Reyes, D. (2022). SimpleFOC: A Field Oriented Control (FOC) Library for Controlling Brushless Direct Current (BLDC) and Stepper Motors. *Journal of Open Source Software*, 7(74), 4232.
- Qudsi dkk., (2019). Desain dan Implementasi Pengaturan Kecepatan Motor BLDC Melalui Pengaturan Fluks. *INOVTEK - Seri Elektro*, 1(1), 36.
- Wibowo, Y. C. (2019). *Analisa pembebanan pada motor brushless dc (bldc)*, (Doctoral dissertation, UNIKA Soegijapranata Semarang.