

Mekanisme *Soft Starting* Pada Pengaturan Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Kendali Logika Fuzzy

Hendi Purnata^{*1}, Supriyono^{*2}, Ardhita Fajar Pratiwi^{*3}, Muhamad Yusuf^{*3}

^{*123}Politeknik Negeri Cilacap

Jln. Dr.Soetomo No.01 Sidakaya, Cilacap, Indonesia

¹hendipurnata@pnc.ac.id

Abstrak—Penelitian ini merancang sistem kecepatan motor brushless DC (BLDC) dengan menggunakan metode kontroler logika fuzzy. Motor BLDC diatur dengan merubah kecepatan berubah-ubah. Penelitian ini merancang sistem kontroler logika fuzzy pada motor BLDC dengan mekanisme *soft starting*. Kontroler logika fuzzy digunakan untuk mengendalikan kecepatan saat berubah-ubah, sedangkan *soft starting* pada motor BLDC digunakan untuk mengurangi lonjakan arus saat start dengan mengatur *duty cycle*. Hasil pada penelitian ini, respon pada kecepatan motor sesuai dengan refferensi yang diinginkan. Kontroler kecepatan logika fuzzy layak untuk dirancang dan diimplementasikan. Respon kecepatan yang dirubah dan beban 5 Nm dapat bekerja sesuai dengan respon yang diinginkan yaitu saat perubahan 700 rpm naik sebesar 2000 rpm kemudian turun sebesar 500 rpm. Saat diberi torsi beban kecepatan sempat beresilasi tetapi dapat Kembali ke respon yang diinginkan.

Kata kunci: *soft starting*, Fuzzy logic controller, BLDC

Abstract—This study designed a brushless DC (BLDC) motor speed system using a fuzzy logic controller method. This study describes the design of a fuzzy logic controller on a BLDC motor with a soft starting mechanism. Fuzzy logic controller is used to control the speed when changing, while soft starting on a BLDC motor is used to reduce inrush current at start by adjusting the duty cycle. The results of this study, the response to the motor speed is in accordance with the desired reference. Fuzzy logic speed controller is suitable to be designed and implemented. The response speed is changed and the load of 5 Nm can work in accordance with the desired response that is when the 700 rpm change rises by 2000 rpm then drops by 500 rpm. When given a torque load speed oscillates but can return to the desired response

Keywords: *soft starting*, Fuzzy logic controller, BLDC

I. PENDAHULUAN

Manusia tidak lepas dari penggunaan motor listrik dalam kehidupan sehari-hari seperti AC, conveyor, penyedot debu, dan kendaraan listrik. Motor DC adalah salah satu motor listrik yang sering digunakan sebagai penggerak kendaraan listrik karena kecepatannya yang mudah dikendalikan dan memiliki variasi kecepatan yang luas. Namun, penggunaan

sikat motor DC menciptakan masalah. Motor DC brushless dapat menggantikan motor DC, yang memiliki keunggulan seperti efisiensi tinggi, torsi tinggi, dan perawatan yang mudah [1-2].

Konstruksi motor DC brushless terdiri dari stator yang terbuat dari gulungan dan rotor yang terbuat dari magnet permanen sumber tegangan utama motor BLDC adalah tegangan DC, motor BLDC memiliki EMF trapesium. Agar motor BLDC bekerja, medan magnet rotasi stator diperlukan. Untuk memperoleh medan magnet yang berputar, stator memerlukan sumber tegangan AC 3 fase pada stator motor [3]. Oleh karena itu membutuhkan driver untuk mengendalikan motor BLDC yaitu sebuah Inverter untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC 3 fasa. Motor BLDC ini seperti layaknya *vector control* yang mengarahkan motor secara langsung tanpa modulasi arus [4]. Untuk pengendalian pada motor BLDC dengan menggunakan teknik PWM *six-step* atau pun *sinusoidal* [5].

Metode *six-step* inverter sering digunakan untuk mengendalikan motor BLDC. Metode ini digunakan karena lebih mudah diimplementasikan dan mempunyai algoritma yang sederhana. Gelombang yang dihasilkan dari metode ini berbentuk persegi dan *trapezium*. Kecepatan motor BLDC dapat disesuaikan dengan menggunakan teknik PWM sebagai *input* dari inverter dan tegangan DC yang bervariasi. Pengaturan kecepatan motor dapat dilakukan dengan mengubah jumlah tegangan input yang disediakan pada motor BLDC sesuai dengan kecepatan motor yang diinginkan. Pengaturan kecepatan motor juga dapat dilakukan dengan mengubah siklus *duty cycle*[6].

Metode *six-step* dapat digunakan dengan torsi dan kecepatan konstan. Motor BLDC digunakan *encoder* atau sensor 3 hall untuk menentukan waktu perubahan komutasi pada kontrol BLDC. Secara umum, *encoder* digunakan untuk menentukan perubahan dalam pemilihan waktu pergantian [7]. Untuk mengendalikan kecepatan motor dibantu kontroler logika fuzzy sebagai kendali kecepatannya. Pada [8] menjelaskan bahwa perancangan logika fuzzy tidak memerlukan model matematika yang akurat. Namun,

perancangan fuzzy membutuhkan operasi logika untuk diterapkan dalam sistem sehingga dapat menghasilkan respon sesuai yang diinginkan. Untuk mengendalikan kecepatan motor dibantu kontroler logika fuzzy sebagai kendali kecepatannya.

Dalam penelitian [4-6] menjelaskan bahwa untuk pengendalian kecepatan motor BLDC memerlukan inverter dengan menggunakan metode *six-step*. Selain metode *six-step* terdapat metode untuk pengendalian motor yaitu dengan hysteresis space vector pulse width modulation (HSVPWM) yang untuk meredam lonjakan arus saat awal [9].

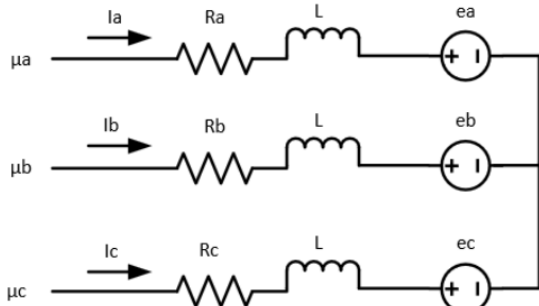
Sedangkan pada [10-11] sistem pengendalian kecepatan dengan menggunakan kontroler logika fuzzy PI yaitu didesain untuk memperbaiki respon dinamis dari sistem penggerak motor dan meminimilisir *error steady state*.

Dapat diketahui motor listrik saat pertama diberikan sumber tegangan terdapat gaya tarik yang kuat atau bisa dikatakan ciri khas dari motor listrik, yang mana tarikan tersebut merupakan lonjakan arus yang diberikan. Lonjakan arus tersebut bisa berbahaya dikarenakan dapat mengurangi umur pada motor listrik.

Dalam penelitian ini, bagaimana cara mengendalikan kecepatan yang berubah-ubah dengan menggunakan kontroler logika fuzzy dan bagaimana cara untuk mengatasi lonjakan arus saat awal diberikan sumber tegangan dengan cara menggunakan mekanisme *soft starting* metode *six-step* inverter yaitu dengan meningkatkan *duty cycle* dengan beberapa *step by step* sampai sesuai dengan yang diinginkan.

II. MOTOR BLDC

Motor BLDC adalah motor sinkron AC dengan magnet permanen pada rotor (bagian yang bergerak) dan belitan pada stator (bagian yang diam). Magnet permanen menciptakan fluks rotor dan belitan stator yang berenergi membuat kutub elektromagnet. Rotor (setara dengan magnet batang) tertarik oleh fase stator yang diberi energi. Dengan menggunakan urutan yang sesuai untuk memasok fase stator, bidang berputar pada stator dibuat dan dipelihara. Tindakan rotor ini, mengejar kutub elektromagnet pada stator merupakan perilaku mendasar yang digunakan dalam motor magnet permanen sinkron. Hubungan antara rotor dan bidang putar harus dikontrol untuk menghasilkan torsi serta sinkronisasi ini menyiratkan pengetahuan tentang posisi rotor [12]. Rangkaian ekuivalen BLDC dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Rangkaian Motor BLDC [10-11]

Persamaan rangkaian motor BLDC dapat direpresentasikan pada matrik di bawah ini:

$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L & 0 & 0 \\ 0 & L & 0 \\ 0 & 0 & L \end{bmatrix} p \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dimana U_a, U_b, U_c merupakan tegang pada fase A, B, dan C. R merupakan resistansi stator, L merupakan Induktansi sedangkan M adalah induktansi gabungan. i_a, i_b, i_c merupakan arus pada fase A, B, dan C. e_a, e_b, e_c merupakan energy yang ada pada phase A, B dan C. Torsi electromagnet pada BLDC bisa ditunjukkan pada persamaan di bawah ini

$$T_e = \frac{e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c}{\omega_m} \quad (2)$$

Dimana T_e merupakan torsi *electromagnet* pada BLDC dan ω_m merupakan kecepatan radian per detik. Persamaan untuk menghitung gerak dalam model matematika lengkap dari sistem elektromekanis dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$T_e - T_L = J \frac{d\omega_m}{dt} + B_v \omega_m \quad (3)$$

Dimana T_L merupakan torsi beban, J merupakan inersia motor, dan B_v merupakan koefisien gesekan. Posisi dan kecepatan rotor ditunjukkan sebagai berikut:

$$\frac{d\theta_r}{dt} = \frac{p}{2} \omega_m \quad (4)$$

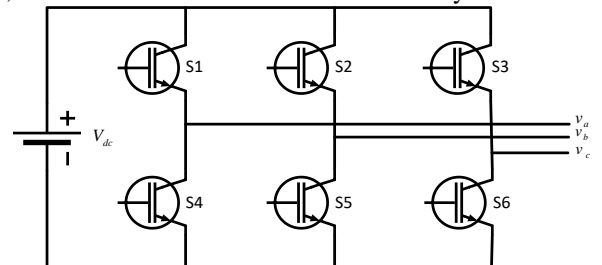
Spesifikasi motor pada tabel di bawah ini

Tabel 1. Spesifikasi Motor

Specification	Quantity (SI)
Rated Power	380 Watt
Rated Current	8 A
Pole number (p)	4
Voltage Input	48 V
Phase Resistance	11.9 Ω
Phase Inductance	0.00207H

III. DRIVER TOPOLOGY

Topologi inverter Tiga fasa ditunjukkan pada gambar 2. Terdapat enam buah *Insulated gate bipolar transistor* (IGBT) ditunjukkan sebagai S1-S6. Pada S1 dan S4 tidak dapat menyala secara bersamaan jika terjadi hubungan pendek antara Vdc dan ground, S1 aktif maka S4 akan mati dan sebaliknya.



Gambar 2. Rangkaian Inverter sebagai Aktuator

Tabel 2. merupakan kondisi sakelar on/off pada inverter untuk rotasi CW motor BLDC. Sakelar on/off inverter ditentukan dari input hall sensor pada mikrokontroler [11].

Tabel 2. motor BLDC *Logic Commutation*

Hall Sensors			Motor Phases		
Hall a	Hall b	Hall c	Phase a	Phase b	Phase c
0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	1	-1
0	1	0	-1	1	0
0	1	1	-1	0	1
0	0	1	0	-1	1
1	0	1	1	-1	0
1	0	0	1	0	-1
1	1	1	0	0	0

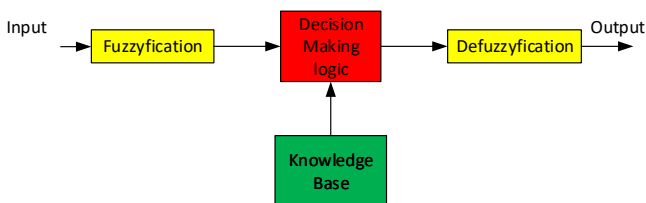
Tabel 2 dapat dilihat *hall sensor* pada posisi 110 lalu S1,S2, S3 konduksi arus dari sumber VDC mengalir melalui S1 & S3 ke *phase* B-C, dan kembali ke sumber VDC melalui S2. Pada saat efek *hall sensor* 010, maka konduksi S2, S3, S4, arus dari sumber VDC mengalir melalui S3 ke *phase* B-A, dan kembali ke sumber VDC melalui S2 & S4.

Pada saat *hall effect* mengalir sensor 011, kemudian konduksi S3, S4, S5, arus dari sumber VDC mengalir melalui S3 & S5 ke *phase* C-A, dan kembali ke sumber VDC melalui S4. Pada posisi sensor efek hall 001, lalu konduksi S4, S5, S6, arus dari sumber VDC mengalir melalui S5 ke *phase* C-B, dan kembali ke sumber VDC melalui S4 & S6.

Ketika *hall effect* sensor posisi 101, S1, S5, S6 konduksi, arus dari sumber VDC mengalir melalui S1 & S5 ke *phase* A-B, dan kembali ke sumber VDC melalui S6. Pada saat sensor efek hall efek 100, S1, S2, S6 konduksi, arus dari sumber VDC mengalir melalui S1 ke *phase* A-C, dan kembali ke sumber VDC melalui S2 & S6.

IV. KONTROLLER LOGIKA FUZZY

Kontroler logika fuzzy menggunakan tipe mamdani. Kontroler ini berbeda dengan kotroler konvensional seperti PID, kontroler logika fuzzy keluarannya mempunyai logika 0 dan 1 atau bekerja di antara 0 sampai 1. Pada kontroler ini tidak memerlukan model matematika dari suatu plant. Agar tercapainya sistem kontroler logika fuzzy terdapat beberapa tahapan seperti fuzzyfikasi kemudian ke *rule base* dan defuzzifikasi seperti pada gambar di bawah ini.



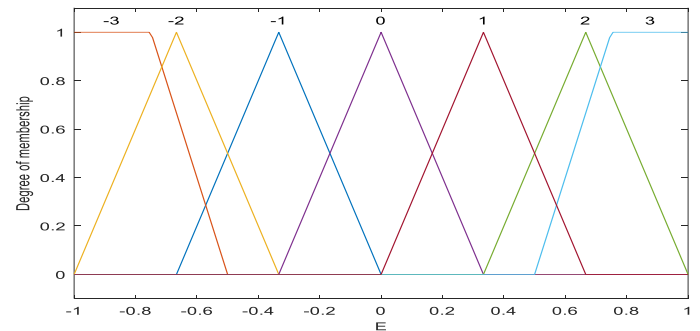
Gambar 3. Mekanisme Kontroler Logika Fuzzy [8]

Gambar 3. merupakan representasi pada kontroler logika fuzzy. Masukan dari sistem ini yaitu data dari kecepatan motor masuk ke dalam fuzzyfikasi yang berwarna kuning yaitu mengubah data ke dalam data script yang di mengerti oleh komponen fuzzy. Setelah masuk ke fuzzyfikasi kemudian terdapat basis pengetahuan yang berwarna hijau, kemudian

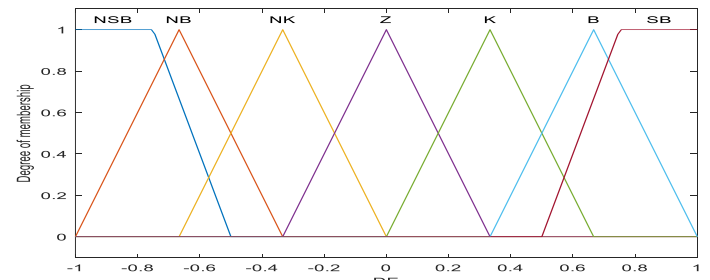
membuat keputusan yang berwarna merah agar bisa memberikan keputusan dari basis pengetahuan yang ada. Setelah dalam Bahasa fuzzy maka akan diubah lagi seperti data sebelumnya yaitu dengan menggunakan defuzzifikasi keluaran berwarna kuning.

Terdapat dua masukan pada fuzzyfication yaitu error dan delta error dari sensor perhitungan kecepatan pada plant. Membweship function fuzzy bisa di lihat pada gambar di bawah ini.

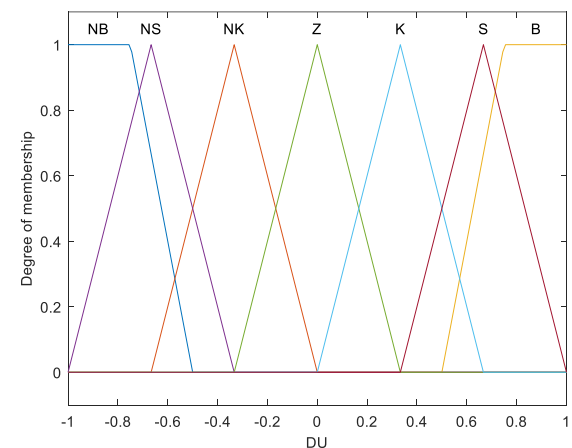
Gambar 6. merupakan membership function terdapat dua buah masukan dan satu buah keluaran. Masukan pada kontroler logika fuzzy adalah Error dan Delta error sedangkan keluaran logika fuzzy merupakan sinyal kontroler yaitu $u(t)$. Operasi kontroler logika fuzzy menggunakan fungsi AND, rules untuk mesin interference fuzzy terdapat 49 buah seperti tabel 3 di bawah ini.



Gambar 4. Membership Function Error



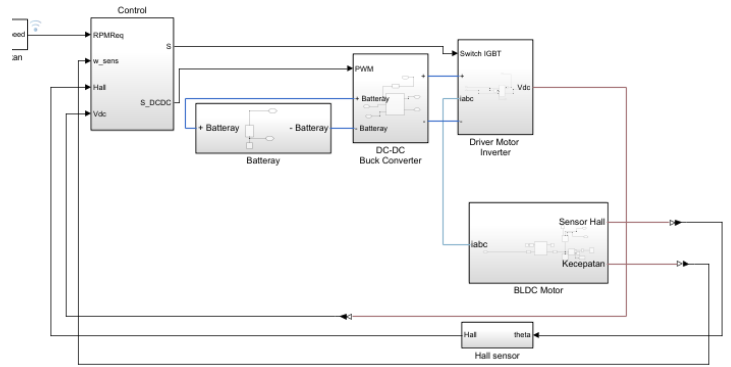
Gambar 5. Membership Function Delta Error



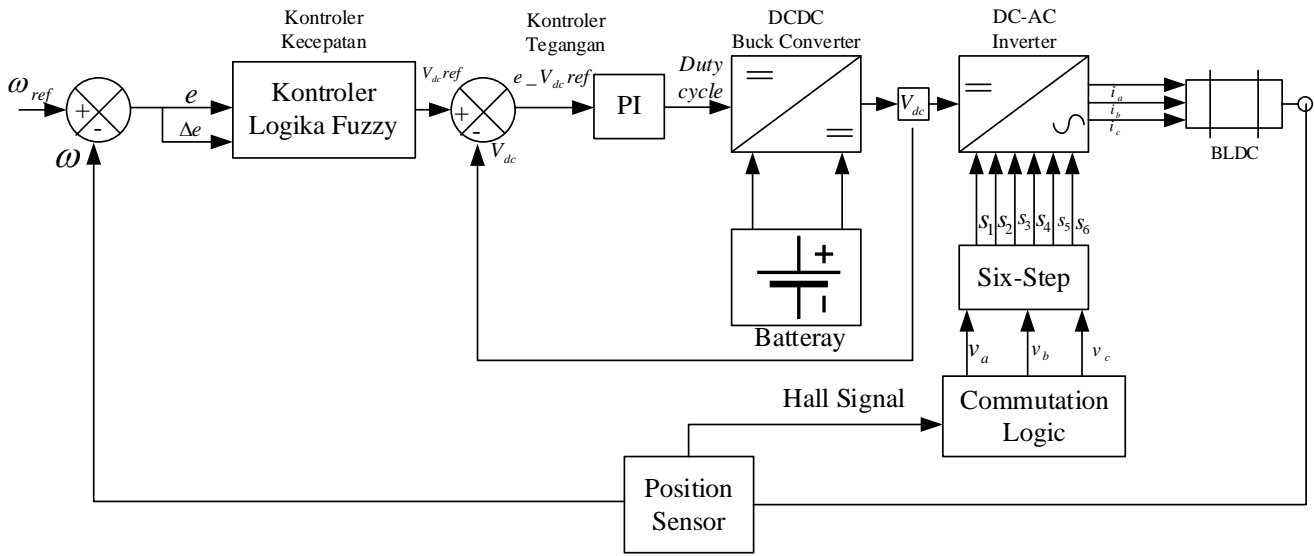
Gambar 6. Membership Function Sinyal Keluaran

Tabel 3. Rule Base Fuzzy

de \ e	-3	-2	-1	0	1	2	3
NSB	NB	NS	NB	NB	NS	NK	Z
NB	NB	NS	NB	NS	NK	Z	K
NK	NB	NK	NS	NK	Z	K	S
Z	NB	NK	NK	Z	K	S	B
K	NS	NS	Z	K	S	B	B
B	NK	Z	K	S	B	B	B
SB	Z	K	S	B	B	B	B



Gambar 8. Block Diagram Matlab



Gambar 7. Diagram Blok Sistem Keseluruhan

V. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan sistem disini yaitu mensimulasikan hasil dari literasi yang telah didapat. Penelitian ini melihat respon kecepatan yang berubah dari 500rpm saat 0.1s, kemudian saat 0.3s ke 0.5 berubah menjadi 3000rpm dan 0.7s ke 0.825 menuju 500rpm. Dan beban tetap sebesar 5 Nm pada saat 0.25s. Sistem keseluruhan bisa dilihat pada gambar 7.

Gambar 7. merupakan sistem secara keseluruhan pada penelitian ini. Data yang akan di cari pada penelitian ini adalah arus saat *starting* dan kecepatan yang berubah-ubah kecepatan yang di ubah-ubah dari 500 rpm saat 0.1 s, kemudian saat 0.3 s ke 0.5 s berubah menjadi 3000 rpm dan 0.7 s ke 0.825 s menuju 500 rpm beban tetap sebesar 5 Nm pada saat 0.25 s. Sistem keseluruhan bisa di lihat pada gambar di bawah ini.

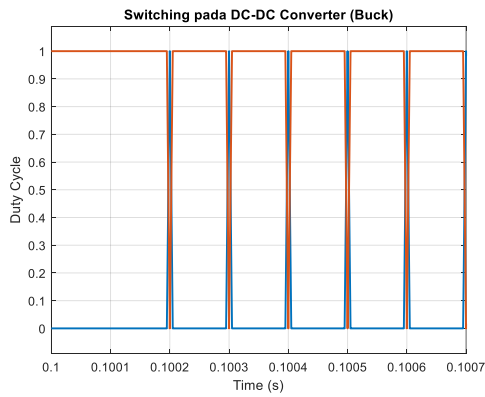
Gambar 7 merupakan sistem secara keseluruhan pada penelitian ini. Data yang akan dicari pada penelitian ini adalah arus saat *starting* dan kecepatan yang berubah-ubah.

VI. HASIL ANALISA DAN SIMULASI

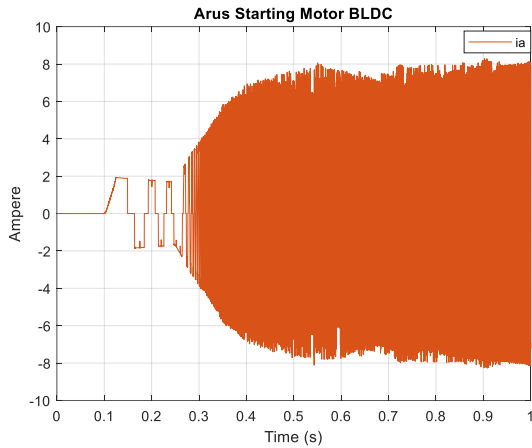
Bagian ini membahas penerapan simulasi *soft starting* dan *Fuzzy logic controller* yang mensimulasikan pada Motor BLDC pada Simulink/Matlab. Gambar 8. adalah rangkaian simulasi pada motor BLDC di Simulink/matlab.

Secara keseluruhan motor BLDC dapat berputar diakibatkan adanya arus yang masuk dengan mengatur kecepatan sebesar 700 rpm, 2000 rpm dan turun ke 500 rpm. Torsi diberikan beban sebesar 5 Nm Ketika 0.25 detik. Data yang di butuhkan agar memperoleh kinerja keseluruhan motor BLDC adalah switching pada dc-dc *buck converter*, *Istart* atau arus saat keadaan motor berputar, V_{dc} atau tegangan dc yang memberikan tegangan inverter, kemudian data kecepatan yang di inginkan dan Torsi sebesar 5 Nm saat 0.25 detik. Berikut data yang diperoleh

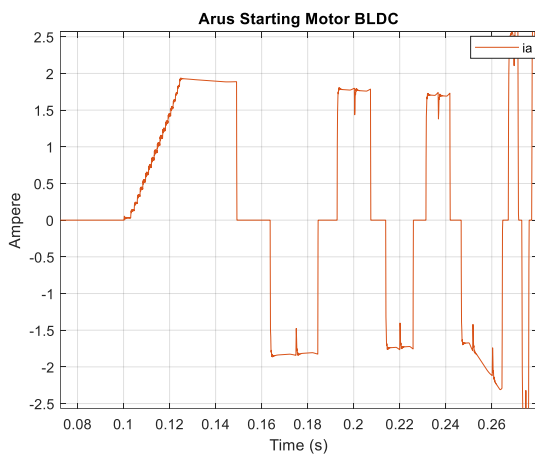
Gambar 9. merupakan *buck converter* yang memberikan tegangan ke inverter pada V_{dc} melalui lebar pulsa atau *duty cycle*. Tegangan V_{dc} yang di berikan sebesar 48 Volt. Pengaturan *duty cycle* pada simulasi bekerja sampai 90%. Pensaklaran *buck converter* didapatkan dari perbandingan $V_{dc\ ref}$ dengan $V_{dc\ Motor}$. Gambar 9 di ambil sampe saat waktu 0.1 detik sampai 0.1007 detik, lebar pulsa sebesar 90% dengan perbandingan waktu ON (orange) dan OFF (Biru).



Gambar 9. Buck Converter

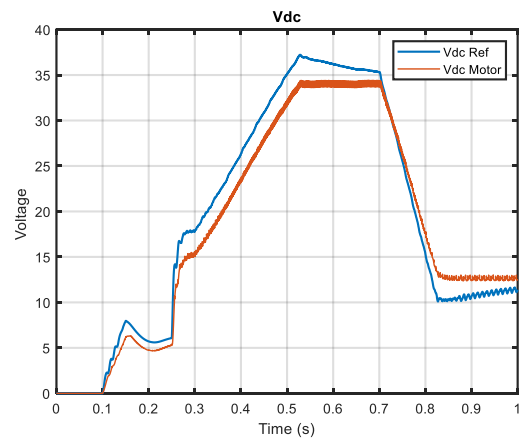


Gambar 10. Arus ia pada Motor BLDC

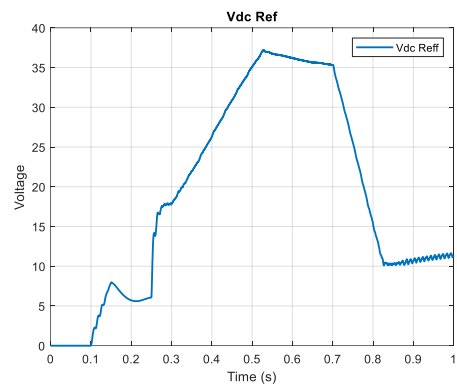


Gambar 11. Arus starting ia pada motor BLDC

Gambar 10 dan 11 menunjukkan respon karakteristik motor BLDC saat menggunakan metode *soft starting*. Gambar 10 menunjukkan saat motor mulai berputar sampai waktu 1 detik sedangkan gambar 11 yaitu Ketika motor mulai berputar dengan nilai arus sebesar 2 A, Ketika motor mulai berputar terlihat pada gambar 10 saat pada waktu 0.3 detik sampai dengan 1 detik, maka arus yang didapatkan pada motor sebesar 7 A.

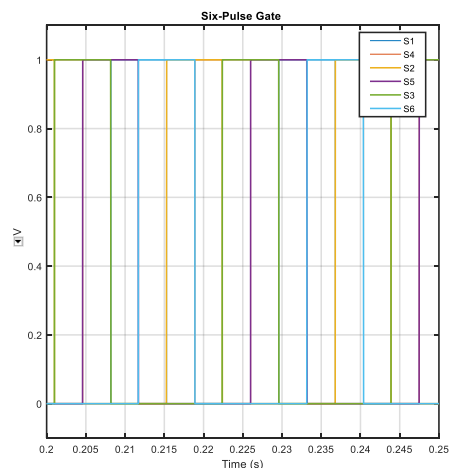


Gambar 12. Perbandingan Respon V_{dc}



Gambar 13. Respon V_{dc}

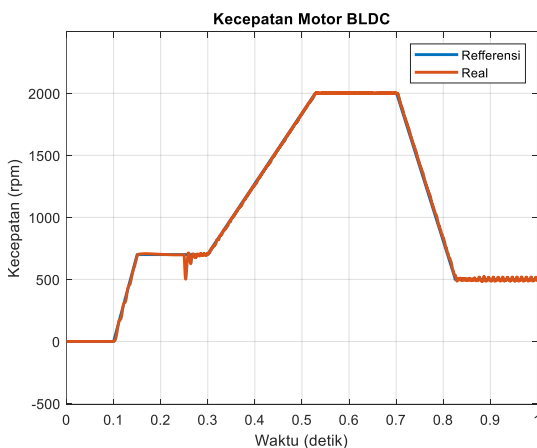
Gambar 12 dan 13 merupakan hasil respon V_{dc} yang dihasilkan dari DC-DC *buck converter*. Tegangan pada sumber batteray sebesar 48 V, agar dapat mengendalikan kecepatan yang diinginkan maka tugas dari DCDC *buck converter* menurunkan tegangan sesuai dengan kebutuhan inverter. Kedua respon V_{dc} Ref maupun V_{dc} Motor dibandingkan agar didapatkan error tegangan dan diolah oleh pengendalian tegangan untuk memberikan tegangan masukan pada inverter.



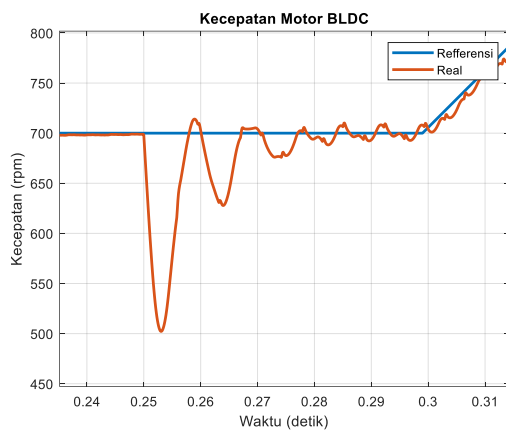
Gambar 14. Gerbang Pensaklaran pada Inverter

Gambar 14. merupakan *gate* pada *six-step* inverter. Respon pulse pada gambar 14. merupakan hasil pensaklaran dengan menggunakan metode *six-step* inverter. Pengaturan kecepatan motor BLDC tergantung pada pensaklaran yang dilakukan oleh inverter

Gambar 15. menunjukkan respon kecepatan motor BLDC dengan menggunakan kontroler logika fuzzy. Terdapat dua sinyal yang ditampilkan yaitu sinyal referensi berwarna biru yaitu sinyal yang diinginkan, sedangkan sinyal actual motor BLDC berwarna orange. Motor BLDC diberikan masukan yang berubah-ubah, saat waktu 0.1 detik memulai motor bekerja. 0.15 detik diberikan respon kecepatan sebesar 700 rpm kemudian dinaikan sebesar 2000 rpm saat 0.5 detik dan diturunkan sebesar 500 rpm saat 0.825. Gambar 15 memberikan respon bahwa kecepatan yang diinginkan dapat diikuti dengan kecepatan real dari motor BLDC tersebut.

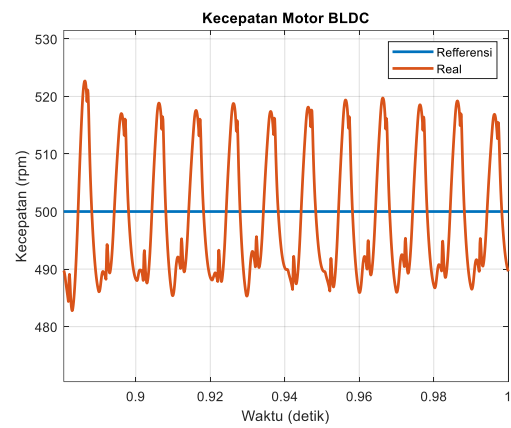


Gambar 15. Respon Kecepatan Motor BLDC



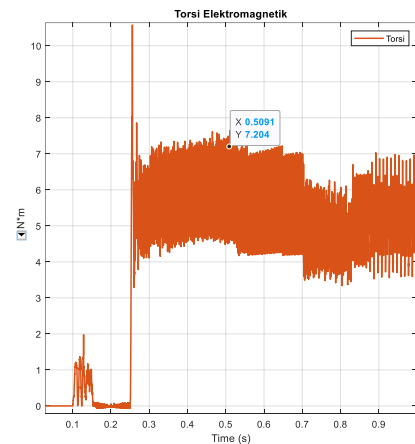
Gambar 16. Respon Kecepatan pada 5 Nm

Gambar 16. terdapat osilasi disebabkan saat waktu 0.25 detik diberikan torsi beban sebesar 5 Nm. Saat diberikan beban, kecepatan menurun sampai 200 rpm yaitu sebesar 500 rpm tetapi dapat kembali sesuai dengan sinyal biru yaitu sinyal yang diinginkan.



Gambar 17. Kecepatan rendah motor BLDC

Gambar 17. merupakan respon kecepatan saat waktu 0.9 detik sampai 1 detik. Kecepatan motor BLDC saat kecepatan rendah memiliki osilasi antara 485 rpm – 520 rpm. Motor BLDC beresilasi pada kecepatan rendah disebabkan adanya efek stator slotting yang mana kerapatan fluks dan gaya Tarik menarik magnet yang tidak seimbang.



Gambar 18. Torsi Elektromagnetik 5 Nm

Pada gambar 18. merupakan torsi elektromagnetik saat waktu 0.25 detik diberikan sebesar 5 Nm. Range fluktuasi *ripple* torsi yaitu sebesar 4,2 Nm sampai 6,9 Nm

VII. KESIMPULAN

Pada penelitian ini *soft starting* menggunakan *six-step* inverter dan pengaturan kecepatan menggunakan kontroler logika fuzzy telah dilakukan dengan menggunakan bantuan software SIMULINK/Matlab. Kontroler kecepatan logika fuzzy layak untuk dirancang dan diimplementasikan. Respon kecepatan yang berubah-ubah dan beban 5 Nm dapat bekerja sesuai dengan respon yang diinginkan yaitu saat perubahan 700 rpm naik sebesar 2000 rpm kemudian turun sebesar 500 rpm. Saat diberi torsi beban kecepatan sempat beresilasi tetapi dapat kembali ke respon yang diinginkan.

Kecepatan rendah pada motor BLDC harus lebih diperhatikan karena memiliki osilasi yang tinggi. Saat

kecepatan rendah terdapat osilasi disebabkan adanya efek stator slotting yang mana kerapatan fluks dan gaya tarik menarik magnet yang tidak seimbang.

REFERENSI

- [1] Weber, T., G. Scaramuzza, and K-U. Schmitt. "Evaluation of e-bike accidents in Switzerland." *Accident Analysis & Prevention* 73 (2014): 47-52.
- [2] Zhu, Xiaoyong, et al. "Systematic multi-level optimization design and dynamic control of less-rare-earth hybrid permanent magnet motor for all-climatic electric vehicles." *Applied Energy* 253 (2019).
- [3] Mohan, Ned, Tore M. Undeland, and William P. Robbins. *Power electronics: converters, applications, and design*. John wiley & sons, 2003..
- [4] Tang, Meiling, and Shengxian Zhuang. "On Speed Control of a Permanent Magnet Synchronous Motor with Current Predictive Compensation." *Energies* 12.1 (2019): 65.
- [5] Karamanakos, Petros, and Tobias Geyer. "Guidelines for the Design of Finite Control Set Model Predictive Controllers." *IEEE Transactions on Power Electronics* (2019).
- [6] Aung, Soe Sandar, and Thet Naing Htun. "Speed Control System for BLDC Motor by using Direct Back EMF Detection Method." (2019).
- [7] Navatakke, R. R., and Jagadeesh Bichagatti. "Optimal PID control of a brushless DC motor using PSOtechnique." *IOSR J Electr Electron Eng* 10.3 (2015): 13-17.
- [8] Kovacic, Zdenko, and Stjepan Bogdan. *Fuzzy controller design: theory and applications*. CRC press, 2018
- [9] Purnata, Hendi, et al. "Penerapan Metode Hysteresis Space Vector Pulse Width Modulation Pada Inverter Tiga Fasa Untuk Pengaturan Kecepatan Dan Efisiensi Motor Induksi." *INOVTEK POLBENG* 7.2 (2017): 111-118.
- [10] Sudirman, Dirvi Eko Juliando, and Wahyu Pribadi. "Implementation of Brushless DC Motor control system with Six Step Commutation Fuzzy Logic Controller." *VOLT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro* 4.1 (2019).
- [11] Prasetyo, Yuli. "Sistem Kontrol Motor Dc Brushless Dengan Fix Frequency Hybrid Fuzzy Logic Controller." *JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering)* 4.2 (2019): 269-272.
- [12] Akin, Bilal, Manish Bhardwaj, and J. Warriner. "Sensorless Trapezoidal Control of BLDC Motors." *Texas Instruments Document, ver 1* (2011).