

Pengaturan Kecepatan Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) Menggunakan *Cuk Converter* Berbasis *Fuzzy Logic Controller*

Dody Asmara¹, Abdul Muis Prasetya², Linda Sartika³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan, Tarakan
Jalan Amal Lama Nomor 1, Tarakan /081347533602, 085292331888

¹ adody0695@gmail.com

²prasetia.electric@gmail.com

³lindasartika75@gmail.com

Intisari — Keuntungan seperti efisiensi tinggi, rasio inersia/torsi tinggi, jangkauan pengaturan kecepatan yang besar dan rendahnya *electro magnetic interference* (EMI) menjadi alasan motor *brushless direct current* (BLDC) menjadi pilihan yang tepat dalam banyak aplikasi di kehidupan sehari-hari. Motor BLDC terdiri dari 3 belitan fasa pada stator dan magnet permanen pada rotornya. Beberapa sistem penggerak yang menggunakan motor BLDC membutuhkan kecepatan motor yang konstan. Akan tetapi pada sistem penggerak tersebut ketika akan diberikan beban yang lebih maka kecepatan akan menurun. Oleh sebab 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 *cuk converter* berbasis *fuzzy logic controller*. Pada tugas akhir ini pengaturan kecepatan motor BLDC menggunakan *cuk converter* berbasis *fuzzy logic controller* karena dapat menaikkan dan menurunkan tegangan. Hasil keluaran tegangan output mempunyai polaritas berkebalikan dengan tegangan input. *Cuk converter* terdiri dari sumber tegangan arus searah atau *direct current* (DC). Perancangan struktur *Fuzzy* pada *Matlab Simulink*, dilakukan dengan melakukan perubahan nilai rentang dan bentuk dari fungsi keanggotaan yang di gunakan, baik masukan maupun keluaran. Pada simulasi yang telah dilakukan didapatkan kecepatan motor *Brushless Direct Current* (BLDC) menggunakan *cuk converter* berbasis *fuzzy logic controller* pada kondisi tidak berbeban, menunjukkan respon dengan menghasilkan *steady state* yaitu 2000 rpm, *rise time* 0.01 s, *settling time* 0.011 s sedangkan saat diberi beban tidak ada perubahan yang signifikan dengan *steady state* sebesar 2000 rpm dan , *rise time* sebesar 0,01 s dan *settling time* sebesar 0,011s.

Kata kunci — Kontrol Kecepatan, Motor *Brushless Direct Current* (BLDC), *Cuk Converter*, *Fuzzy Logic Controller*.

Abstract — Advantages such as high efficiency, high inertia/torque ratio, large speed adjustment range and low electro magnetic interference (EMI) make the brushless direct current (BLDC) motor the right choice in many applications in everyday life. BLDC motor consists of 3 phase windings on the stator and permanent magnet on the rotor. Some drive system that use BLDC motors require a constant motor speed. However, when the drive system will be given more load, the speed will decrease. Therefore, a regulation of motor speed is needed so that the speed becomes constant if it is given more load. There are many ways to regulate BLDC motor speed, one of them is to use choke converter based on a fuzzy logic controller. This final project used a choke converter based on fuzzy logic controller to regulate the speed of a BLDC motor since it might change the voltage. The resulting output voltage had the opposite polarity to the input voltage. Choke converter consisted of the direct current (DC) voltage source. Fuzzy structure design in Matlab Simulink, done by changing the range value and shape of the membership function used, both input and output. In the simulation, the Brushless Direct Current (BLDC) motor's speed responded by producing a steady state of 2000 rpm, rise time 0.001 s, and settling time 0.011 s under no load conditions, while there was a significant change with steady state of 2000 rpm and, rise time 0.01 s, and settling time of 0.011 s when the load was not present.

Keywords— Speed Control, Brushless Direct Current (BLDC) Motor, Choke converter, Fuzzy Logic Controller.

I. PENDAHULUAN

Kini telah berkembang mesin arus searah, terutama untuk mesin yang kecil, diantaranya sebagai motor kendali, atau pun motor servo. Mesin penggerak bertenaga elektrik yang populer adalah motor arus searah tanpa sikat (motor

BLDC), karena memiliki kelebihan dibandingkan jenis mesin penggerak bertenaga elektrik lainnya[1]. Kelebihan motor BLDC adalah efisiensi lebih tinggi dari pada motor induksi, dimensi lebih kecil dari pada motor arus searah konvensional. Selain itu dengan tidak adanya sikat, maka perawatan menjadi ringan,

hampir tidak ada derau/noise, dan bisa dioperasikan pada lingkungan yang mudah terbakar. Keenihan lain dibandingkan mesin induksi adalah tanggapannya lebih cepat, umur pakai lebih lama, dan mempunyai rentang kecepatan yang lebar[2].

Sistem motor BLDC mengacu pada konsep rangkain elektromekanik sistem penggerak yang tanggap dan hemat energi. Sistem tersebut dibangun melalui perpaduan elektromekanik, rangkaian elektronika, sistem sensor dan rangkaian logika atau algoritma kendali mikro. Pada bagian elektromekanik menonjolkan konsep keunggulan motor sinkron 3 fasa dalam hal efisiensi. Pada bagian elektronika terdiri dari sklar static dengan memanfaatkan komponen transistor untuk mengubah tegangan bolak bali (*inverter*). Pengaturan ketegangan keluaran inverter dilakukan dengan mengatur lebar pulsa pensaklaran inverter disesuaikan dengan kebutuhan kecepatan atau torsi beban[3].

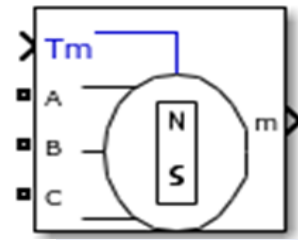
Cuk converter merupakan converter dc-dc dengan besarnya tegangan luaran dari converter ini dapat lebih besar atau lebih kecil dari tegangan masukan, tetapi tegangan luaran dari konverter ini memiliki polaritas yang terbalik dari tegangan masukannya. Atas pertimbangan dasar biaya dan kontrol yang kompleks, dilakukan penelitian terhadap Cuk converter dalam kemampuannya untuk kontrol kecepatan motor brushless DC. Cuk converter dipilih karena dapat dioperasikan dalam berbagai metode dan juga dapat berfungsi untuk menaikkan maupun menurunkan tegangan output. Pada penelitian ini, cuk converter akan dikombinasikan dengan beberapa sistem kontrol berbasis Fuzzy logic controller (FLC) sehingga dapat digunakan untuk kontrol kecepatan motor[4].

II. METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk simulasi.

A. Model Motor BLDC

Model motor yang digunakan pada motor brushless DC adalah motor jenis rotor magnet permanen. Adapun konfigurasi dan parameter yang digunakan seperti pada gambar dibawah ini[5].



Gbr. 1 Model motor BLDC

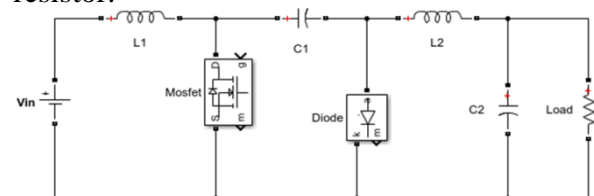
Parameter motor BLDC pada simulasi ini ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Parameter motor BLDC

Parameter	Nilai
Base Speed	3000 rpm
Base Current	0.9 A
Base Resistance	2.8750 Ohm
Rating Voltage	500 V
Rating (p)	1000 w
Inductance	8.5e-3 H
Flux Linkage	0.175 Vs
No. Of Poles	4
Rotor Inertia (J)	0,8e-3 kgm ²

B. Parameter Cuk Converter

Cuk converter tersusun dari komponen yang umum digunakan diantaranya yaitu inductor, mosfet, kapasitor, diode serta resistor.



Gbr. 2 Rangkaian Cuk Converter

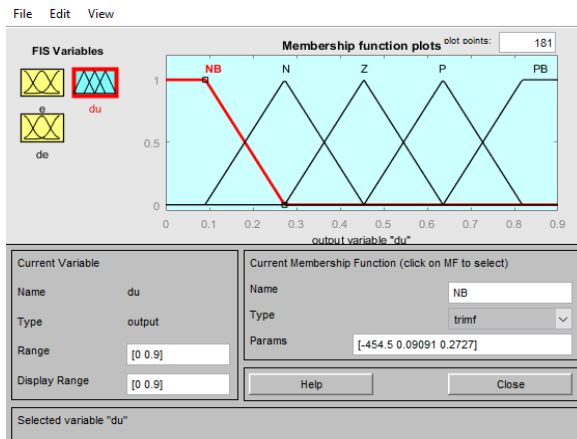
Untuk merancang Cuk converter diperlukan beberapa parameter yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, parameter Cuk converter pada simulasi ini ditunjukkan pada tabel dibawah ini[6].

Tabel 2. Parameter Cuk Converter

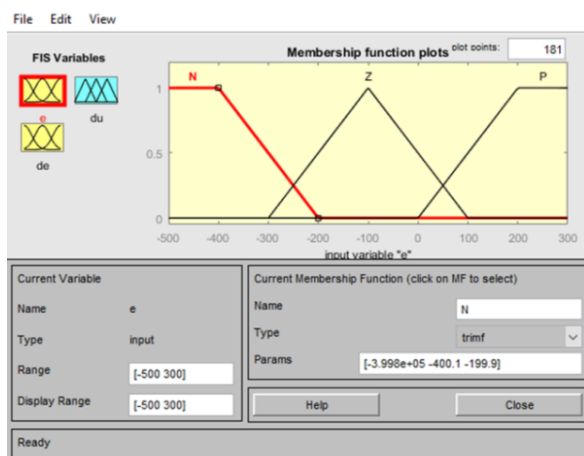
Parameter	Nilai
Tegangan Input	250 V
Tegangan Output	500 V
Daya output	1000 V
Frekuensi	8.33e05 Hz
Induktor (L1)	5.00e-04 H
Induktor (L2)	9.09e-04 H
Kapasitor (C1)	2.13e-08 F
Kapasitor (C2)	7.64e-12 F
Beban	250 Ohm

C. Perancangan Fuzzy Logic Controller

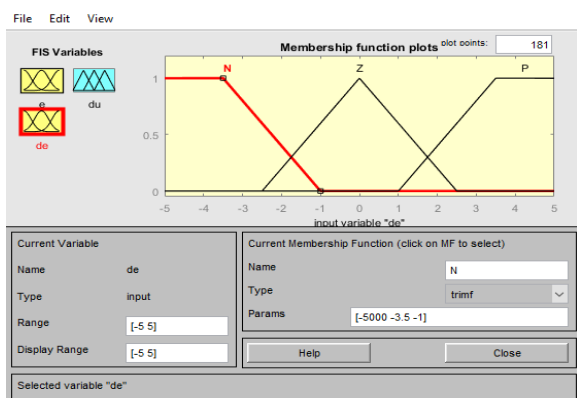
Perencanaan Fuzzy yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *mamdani*. Fungsi keanggotaan input *error* ditunjukkan pada Gambar 3, fungsi keanggotaan input *deltaerror* ditunjukkan pada Gambar 4, dan fungsi keanggotaan output *defuzzyfikasi* ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini.



Gbr. 3 Fungsi Keanggotaan *Input Error*



Gbr. 4 Fungsi Keanggotaan *Input Deltarror*



Gbr. 5 Fungsi Keanggotaan *Defuzzyfikasi*

Untuk aturan inferensi fuzzy pengaturan kecepatan motor BLDC ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 3. Aturan Inferensi Fuzzy

$e/\Delta e$	N	Z	P
N	NB	N	z
Z	N	Z	p
P	Z	p	PB

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan cara melakukan simulasi dari model simulasi yang telah didesain pada SIMULINK. Dari hasil simulasi seluruh sistem dibuat analisa dan hasilnya berupa kecepatan dengan membandingkan hasil simulasi antara *Cuk Converter* tanpa kontrol dengan terkontrol dan kestabilan kecepatan jika pada saat tanpa beban dan berbeban. Tegangan input 250 (V_i) dari sumber tegangan dan tegangan output 500 (V_o)

A. Desain *Cuk Converter*

Berdasarkan tegangan input dan tegangan output yang telah ditentukan, maka *duty cycle* yang digunakan pada rangkaian *cuk converter* dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini :

Diketahui :

$$V_o = 500 \text{ v}$$

$$V_i = 250 \text{ v}$$

Cara menghitung *duty cycle* :

$$\text{Duty Cycle} = \frac{500}{250} = \frac{D}{1-D}$$

$$500 - 500 \cdot D = 250 \cdot D$$

$$500 = 750 \cdot D$$

$$D = 0,65$$

Dari hasil persamaan tersebut diketahui bahwa desain rangkaian *Cuk converter* menggunakan nilai *duty cycle* sebesar 65%. Parameter selanjutnya yang harus ditentukan yaitu nilai beban (R) yang digunakan pada rangkaian *cuk converter*, perhitungan beban (R) berdasarkan tegangan output dan daya output yang diharapkan, maka beban (R) yang digunakan pada rangkaian *Cuk converter* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Diketahui :

$$P_o = 1000 \text{ W}$$

$$V_o = 500 \text{ V}$$

Cara menghitung Resistansi :

$$1000 = 500 \times I$$

$$R = \frac{500^2}{1000} = 250 \text{ Ohm}$$

Setelah mengetahui nilai parameter dari rumus daya, tegangan, arus, dan beban. Langkah selanjutnya adalah mencari nilai induktor (L_1 dan L_2) dan kapasitor (C_1 dan C_2). Pada desain rangkaian *Cuk converter* terdapat dua buah induktor yang digunakan yaitu pada bagian *input* (L_1) dan pada bagian *output* (L_2), dan terdapat juga dua buah kapasitor yang digunakan yaitu, kapasitor pentransfer tegangan (C_1) pada bagian *input* dan kapasitor filter (C_2) pada sisi *output*. Untuk menentukan nilai masing-masing kedua induktor dan kapasitor tersebut menggunakan peramaan berikut ini :

Cara menghitung Induktor (L_1) :

$$L_I = \frac{V_s^2 \cdot V_o}{\lambda \cdot P \cdot f \cdot (V_o + V_s)} = \frac{250^2 \times 500}{0.1 \cdot 1000 \cdot 8,33 \times 10^5 \cdot 750} = 5,00 \times 10^{-4} \text{ H}$$

Cara menghitung Induktor (L_2) :

$$L_o = \frac{V_s \cdot V_o^2}{\lambda \cdot P \cdot f \cdot (V_o + V_s)} = \frac{250 \times 0,54}{0.11 \cdot 1000 \cdot 8,33 \times 10^5 \cdot 750} = 9,09 \times 10^{-4} \text{ H}$$

Cara menghitung Kapasitor (C_1) :

$$C_I = \frac{P}{\lambda \cdot f \cdot (V_o + V_s)^2} = \frac{1000}{0.11 \cdot 8,33 \times 10^5 \cdot (750)^2} = 2,13 \times 10^{-8} \text{ F}$$

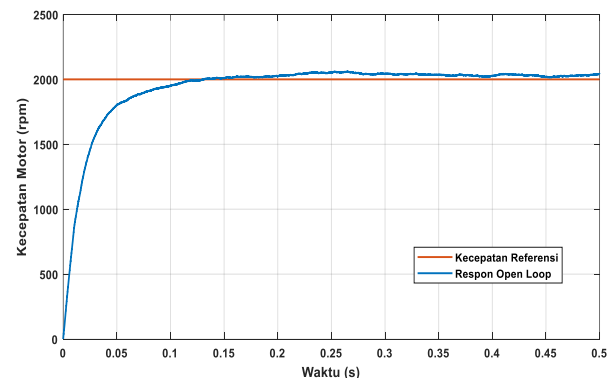
Cara menghitung Kapasitor (C_2) :

$$C_o = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \lambda \cdot V_o^2} = \frac{1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,33 \times 10^5 \cdot 0,1 \cdot (500)^2} = 7,64 \times 10^{-12} \text{ F}$$

B. Uji Respon Open Loop Kecepatan Motor BLDC

Pada pengujian ini, pengujian *open loop* dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon dari sistem pengaturan kecepatan motor sebelum diberi kontrol. Pengujian *open loop* dilakukan guna melihat antara input yang berupa *duty cycle* dan output berupa kecepatan dari motor BLDC. Adapun pada pengujian ini nilai input yang berupa

nilai *duty cycle* diberikan secara bervariasi berupa 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, dan 0.9.



Gbr. 6 Respon Kecepatan Motor BLDC

Pada Gambar 6 didapatkan hasil yaitu *steady state* motor BLDC pada saat diberi nilai *input duty cycle* 0.322222 memiliki nilai rata-rata sebesar 2042 rpm.

C. Uji Respon Open Loop Kecepatan Motor BLDC Berbeban

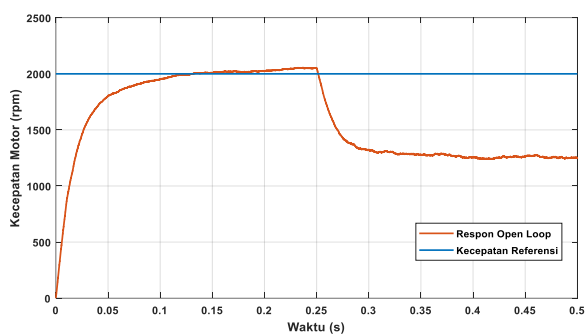
Pada pengujian ini, Respon dari pada open loop sistem kontrol kecepatan motor BLDC ketika diberikan beban yang akan diamati adalah kecepatan dan arus pada motor tersebut, adapun nilai input *duty cycle* nya sebesar 0.322222 sedangkan untuk torsi bebannya akan diberikan 1 N.m.

Setelah dilakukannya pengujian diketahui bahwa respon dari pada kecepatan motor BLDC saat diberikan kecepatan referensi 2000 rpm pada Gambar 4.8 dapat diamati bahwa pada waktu 0.25 s diberikan beban sebesar 1 N.m. Pada Gambar 7 dapat diamati bahwa terjadi penurunan *steady state* pada detik 0.25 s sebesar 1273 rpm, ini disebabkan bahwa masuknya beban pada kecepatan motor tersebut sebesar 1 N.m.

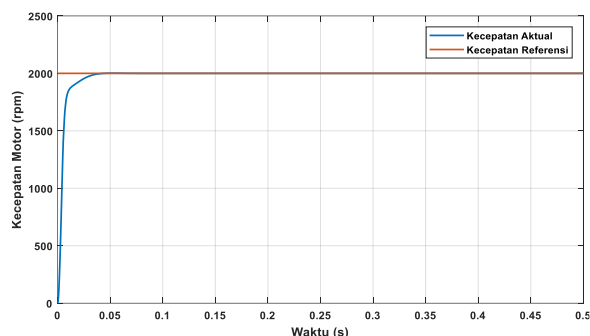
D. Uji Respon Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Fuzzy Logic

Pada pengujian ini, kecepatan motor dengan menggunakan *Fuzzylogic controller* akan diuji dengan memberikan referensi kecepatan tetap 2000 rpm.

Pada Gambar 8 didapatkan bahwa kecepatan referensi yang diinginkan dapat diikuti oleh kecepatan motor menggunakan *Fuzzy logic controller* dengan *steady state* 2000 rpm, *rise time* sebesar 0,01s dan *settling time* sebesar 0.011s.



Gbr. 7 Respon Kecepatan Motor BLDC Berbeban

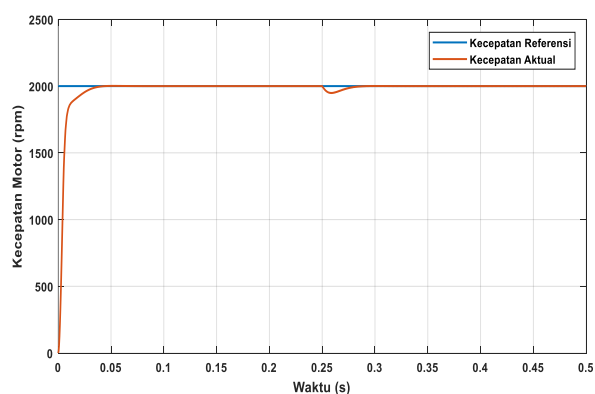


Gbr. 8 Respon Kecepatan Motor BLDC Menggunakan *Fuzzy Logic Controller*

E. Uji Respon Kecepatan Motor BLDC Menggunakan *Fuzzy Logic* Berbeban

Pada pengujian ini, kecepatan motor dengan menggunakan *Fuzzy logic controller* akan diuji dengan memberikan referensi kecepatan tetap 2000 rpm dan beban sebesar 1 N.m.

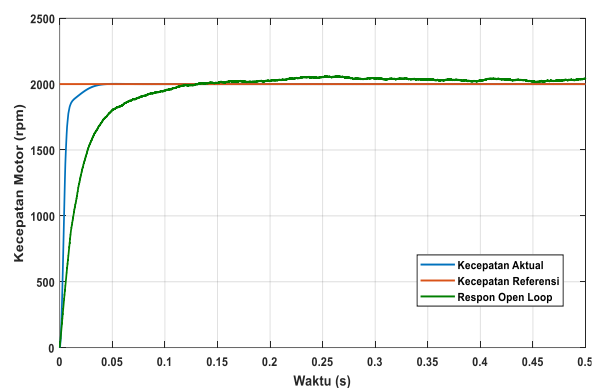
Pada Gambar 9 dapat diamati bahwa respon kecepatan motor bldc menggunakan *Fuzzy* berbeban mengalami penurunan pada detik 0.25 s disebabkan masuknya beban yang diberikan sebesar 1 N.m dan kembali steady state sebesar 2000 rpm dengan rise time 0.01 s, dan settling time 0.011 s.



Gbr. 9 Respon Kecepatan Motor BLDC Menggunakan *Fuzzy Logic Controller* Berbeban

F. Uji Respon Open Loop Dengan Kecepatan Motor BLDC Menggunakan *Fuzzy Logic*

Pada pengujian ini, akan dilihat respon pada open loop sistem kontrol kecepatan motor BLDC dengan kecepatan motor BLDC menggunakan *fuzzy logic controller*, duty cycle senilai 0.322222 adalah inputan yang akan diberikan ada pengujian respon open loop, adapun kecepatan referensi yang akan diberikan pada pengujian Kecepatan motor adapun kecepatan referensi yang akan diberikan pada pengujian kecepatan motor BLDC menggunakan *fuzzy* adalah sebesar 2000 rpm. Hasil dari pada respon keduanya dapat dilihat pada Gambar 10.



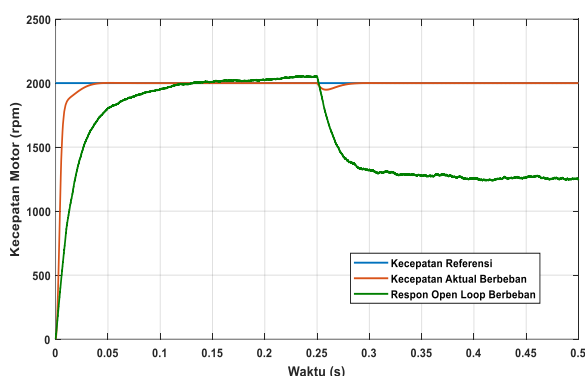
Gbr. 10 Respon Open Loop Dengan Kecepatan Motor BLDC Menggunakan *Fuzzy Logic Controller*

Pada Gambar 10 dapat diamati bahwa respon dari open loop, pada saat diberi nilai *input duty cycle* 0.322222 memiliki nilai rata-rata *steady state* sebesar 2042 rpm dan respon dari pada kecepatan motor BLDC menggunakan *fuzzy* didapatkan hasil *steady state* sebesar 2000 rpm.

G. Uji Respon Open Loop Dengan Kecepatan Motor BLDC Menggunakan *Fuzzy Logic* Berbeban

Pada pengujian ini, akan dilihat respon pada open loop sistem kontrol kecepatan motor BLDC berbeban dengan kecepatan motor BLDC menggunakan *fuzzy logic controller* berbeban, dengan duty cycle senilai 0.322222 yang merupakan inputan dari pada pengujian respon open loop, adapun kecepatan referensi yang akan diberikan pada pengujian kecepatan motor BLDC menggunakan *fuzzy* adalah sebesar 2000 rpm.

Pengujian kali ini beban yang akan diberikan pada detik 0.25 s sebesar 1 N.m, hasil dari pada respon keduanya dapat dilihat pada Gambar 11.



Gbr. 11 Respon Open Loop Dengan Kecepatan Motor BLDC Menggunakan *Fuzzy Logic Controller* Berbeban

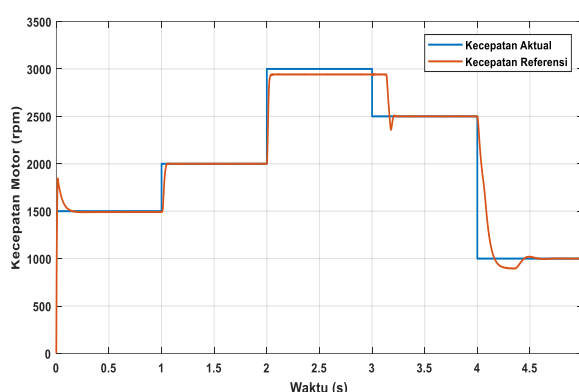
Pada Gambar 11 dapat diamati bahwa respon dari pada open loop detik 0.2 s terjadi penurunan, ini disebabkan masuknya beban pada detik 0.2 s sebesar 1 N.m dan respon kecepatan motor BLDC menggunakan *fuzzy* saat detik 0.2 s masuknya beban yang diberikan sebesar 1N.m, namun tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dan *steady state* sebesar 2000 rpm.

H. Uji Respon Kecepatan Motor BLDC Menggunakan *Fuzzy Logic* Secara Bervariasi

Pada pengujian ini, respon dari pada kecepatan referensi akan diuji dengan melakukan perubahan referensi kecepatan yang bervariasi pada setiap waktu tertentu, percobaan pengujian kecepatan referensi di setting dengan 5 sekon dimulai dengan 1500 rpm pada setting waktu 0-1 s, 2000 rpm pada setting waktu 1-2 s, 3000 rpm pada setting waktu 2-3 s, 2500 rpm pada setting waktu 3-4 s dan terakhir 1000 rpm pada setting waktu 4-5 s. Adapun hasil dari pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini.

Pada Gambar 13 didapatkan bahwa kecepatan referensi yang diinginkan dapat diikuti oleh kecepatan aktual, pada waktu 0-1 s dengan kecepatan referensi 1500 rpm *steady state* nya terdapat pada waktu 0,1 s dengan kecepatan 1490 rpm, pada waktu 1-2 s dengan kecepatan referensi 2000 rpm *steady state* terjadi pada detik 1,05 s dengan kecepatan sama 2000 rpm, pada waktu 2-3 s

dengan kecepatan referensi 3000 rpm *steady state* terjadi pada detik 2,1 s dengan kecepatan 2940 rpm, pada waktu 3-4 s dengan kecepatan referensi 2500 rpm *steady state* terjadi pada detik 3,2 s dengan kecepatan yang sama 2500 rpm dan pada waktu 4-5 s dengan kecepatan referensi 1000 rpm *steady state* terjadi pada detik 4,5 s dengan kecepatan yang sama 1000 rpm. Adapun *error* pada *steady state* pengujian kali ini dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut.



Gbr. 12 Respon Kecepatan Referensi bervariasi Dan Kecepatan Aktual

Tabel 4. Nilai Kecepatan Referensi Bervariasi Dan Kecepatan Aktual

Kecepatan Referensi	Kecepatan Aktual	Error Steady State
1000	1000	0%
1500	1490	0,6%
2000	2000	0%
2500	2500	0%
3000	2940	2,04%

IV. PENUTUP

Berdasarkan hasil simulasi dan analisi yang dilakukan pada pengaturan kecepatan motor *Brushless direct current* menggunakan *Cuk converter* berbasis *Fuzzy logic controller* dapat disimpulkan bahwa, respon kecepatan motor yang lebih baik didapatkan pada saat kecepatan motor BLDC menggunakan *Fuzzy logic controller* dengan *steady state* sebesar 2000 rpm dibandingkan pada respon *open loop* sistem kontrol kecepatan motor BLDC dengan *steady state* sebesar 2042 rpm. Pada saat diberikan beban

sebesar 1 N.m respon kecepatan motor yang lebih baik pun didapatkan pada saat kecepatan motor BLDC menggunakan *Fuzzy logic controller* dengan *steady state* tetap sebesar 2000 rpm dibandingkan pada respon *open loop* sistem kontrol kecepatan motor BLDC dengan *steady state* sebesar 1273 rpm. Adapun pada respon kecepatan motor BLDC menggunakan *Fuzzy logic* secara bervariasi, untuk kecepatan 1000 rpm *error steady state* sebesar 0%, 1500 rpm *error steady state* sebesar 0,6%, 2000 rpm *error steady state* sebesar 0%, 2500 rpm *error steady state* sebesar 0% dan kecepatan 3000 rpm *error steady state* sebesar 2,04%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada keluarga dan kerabat yang selalu mendukung saya dalam menyusun penelitian ini. Dan kepada dosen pembimbing saya Abdul Muis Prasetya, S.T., M.T. dan Dr. Eng Linda Sartika, S.T., M.T. yang sangat membantu saya dalam menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih yang sebesar – besarnya.

REFERENSI

- [1] A. S., N. M., & Mulyana, D. (2019). Pengaturan Kecepatan Motor Brushless DC(Direct Current) Menggunakan Cuk Converter. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer TRIAC*, 6(2), 11–16. <https://doi.org/10.21107/triac.v6i2.5990>
- [2] Hidayat. (2014). Pengembangan *Hybrid PID-ANFIS (Proportional Integral Derivate-Adaptive Neuro Fuzzy Inference Systems)* Sebagai Pengendali Kecepatan Mesin Arus Searah Tanpa Sikat (MASTS) (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- [3] Sutikno. (2011). Perbandingan Metode Defuzzifikasi Aturan Mamdani Pada Sistem Kendali Logika Fuzzy (Studi Kasus Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC). *Elektro, Jurusan Teknik Teknik, Fakultas Semarang, Universitas Diponegoro*, 1–10.
- [4] Putra, H. P., Suryoatmojo, H., & Anam, S. (2016). Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Cuk Converter pada Pengaturan Kecepatan Motor Brushless DC. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.16097>
- [5] Al Mashhadany, Y. I. M., Abbas, A. K., & Algburi, S. S. (2022). Modeling and analysis of brushless DC motor system based on intelligent controllers. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11(6), 2995–3003. <https://doi.org/10.11591/eei.v11i6.4365>
- [6] SUSANTO, B. K. (2017). Desain dan Implementasi Konverter Cuk Dengan Induktor Terkoppel Untuk Reduksi Ripple Arus Masukan. <https://repository.its.ac.id/1620/>