

# ***Evaluasi Performa Fuzzy Logic Controller untuk mengatur kecepatan Motor DC Penguatan Terpisah***

Muhammad Aditya Ardiansyah<sup>1</sup>, Renny Rakhmawati<sup>2</sup>, Hendik Eko Hadi Suharyanto<sup>3</sup>, Era Purwanto<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

<sup>2</sup> Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

<sup>3</sup> Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

<sup>4</sup> Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Adtardiansyah1998@pe.student.pens.ac.id

## **ABSTRACT**

*The variation of the Fuzzy Inference System method made many researchers discussed the difference between the inference system method. So far, there is three fuzzy inference system that has been developed that are Mamdani, Sugeno, and Sakamoto. In this paper, the performance of the fuzzy logic controller will be evaluated using a DC Motor Separately excited as the load to control the speed of the DC motor using an Armature voltage. DC Motor is a widespread motor that has many applications in many industrial sectors such as Electric Vehicle, and Trains. In this study, The inference method that this paper used is a Sugeno type with Multi-Input Single Output (MiSo) Fuzzy configuration. This paper has two input that consists of error and change of error while the output has one output that is duty cycle. This Fuzzy logic controller is built to control the output of the controlled voltage source using a switching method. The target of this paper is to reduce the steady-state error and oscillation of the waveform. The simulation is provided by Simulink by Matlab and created the result with the overall steady-state of error at 5,36%.*

**Keywords:** Fuzzy Logic Controller, DC Motor, Speed Control

## **ABSTRAK**

*Beragamnya metode yang ditawarkan oleh fuzzy logic controller membuat sebagian orang meneliti mengenai perbedaan metode inferensi yang digunakan oleh fuzzy logic controller. Sejauh ini terdapat tiga metode fuzzy logic controller yang telah dikembangkan yaitu Mamdani, Sugono dan Sukamoto. Pada jurnal ini penggunaan fuzzy logic controller akan dievaluasi dengan menggunakan motor dc penguat terpisah sebagai beban untuk melakukan pengaturan kecepatan motor dc. DC motor merupakan salah satu jenis motor memiliki banyak aplikasi dan memiliki kemudahan untuk mengatur kecepatan pada motor tersebut. Logika fuzzy yang digunakan pada studi ini adalah inferensi sugeno dimana dengan konfigurasi Multiple Input Single Output (MiSo). Dimana input berupa error dan perubahan error dan output berupa duty cycle dikarenakan yang dikendalikan oleh logika fuzzy adalah Boost Converter selaku controlled voltage source. Target pada jurnal ini adalah dari kecilnya nilai steady – state error dan minimnya osilasi sehingga mampu membuat sistem lebih stabil. Pada studi ini, Hasil pengujian dilakukan dengan menggunakan Simulink by Matlab dengan Hasil pengujian berupa error rata rata sebesar 5.36%.*

**Kata kunci:** Kontrol Logika Fuzzy, Motor DC, Pengaturan Kecepatan

## **1. PENDAHULUAN [11pt, kapital]**

Penggunaan motor listrik pada era sekarang sangatlah meingkat pesat khususnya pada pelaku industri baik itu sekala kecil maupun besar dengna penggunaan yang berbeda sesuai dengan jensi motor listrik yang digunakan. Motor AC dan Motor DC memiliki penggunaan yang berbeda dimana motor DC memiliki aksesibilitas untuk melakukan pengaturan yang lebih mudah sehingga aplikasi motor dc sering ditemukan pada kendaraan listrik maupun kereta listrik [1] . Untuk melakukan pengaturan kecepatan pada sebuah motor DC bantuan perangkat dari perangkat elektronika daya dan juga sebuah sistem control diperlukan guna mendapatkan hasil yang diinginkan oleh pengguna. Kontrol motor dc penguatan terpisah memiliki tiga metode di mana yaitu dengan mengatur tegangan jangkar, tegangan medan dan juga mengatur tahanan jangkar pada motor dc penguat terpisah tersebut [2]. Pada jurnal ini digunakan metode pengaturan kecepatan melalui tegangan jangkar sehingga dibutuhkan sebuah control sistem untuk mengaturnya. Dimana sistem control ini akan mempertimbangkan kurva torsi – kecepatan sehingga mampu mendapatkan kecepatan yang diinginkan. Beragam sistem kontrol dapat digunakan untuk mendukung sistem perangkat elektronika yang ada tersebut. Seperti penggunaan kontrol PID. PID merupakan kontrol yang didasarkan oleh tiga fungsi matematika yaitu *Proportional* (P), *Integral* (I), *Derivative* (P). Akan tetapi penggunaan PID kurang mampu menghadapi sistem dengan berkecepatan tinggi.

Sehingga penggunaan kontrol sistem harus disesuaikan agar dapat tepat sasaran pada pengaturan yang diinginkan. Pada paper ini pemilihan kontrol dipilih menggunakan kontrol logika fuzzy. Kontrol logika fuzzy memiliki kelebihan yang sesuai dengan sistem yang digunakan di mana fleksibilitas pada parameter desainnya membuat jangkauan output dapat lebih luas diakibatkan pemodelan logikanya menggunakan variabel linguistic [3]. Logika fuzzy telah banyak digunakan pada banyak aplikasi karena dapat mengontrol sebuah object tanpa harus mengetahui data pastinya sehingga logika fuzzy dijuluki sebagai controller nonlinear [4] [5].

Banyak praktisi dan akademisi melakukan penelitian untuk melakukan pengaturan kecepatan pada motor dc dengan jenis dan controller yang berbeda- beda. Beberapa peneliti menggunakan kontrol konvensional seperti kontrol PID dengan menggunakan metode pencarian parameter P, I, D dengan bantuan kontrol cerdas. Salah satu studi meneliti penggunaan kontrol PID berbasis *genetics algorithm* (algoritma genetika) sebagai kontrol pengatur kecepatan pada dc motor [6]. Sedangkan penggunaan fuzzy kontrol fuzzy logic untuk pengaturan kecepatan banyak menggunakan metode inferensi Mamdani jika dibandingkan dengan sugeno. Seperti pada salah satu studi yang sudah didiskusikan dimana Mamdani memiliki metode inference yang lebih umum dan lebih mudah digunakan dikarenakan output dan input memiliki parameter desain yang sama dengan menggunakan fuzzy subset [7].

Pada paper ini menggunakan sistem fuzzy dengan inferensi sugeno. Di mana controller ini digunakan untuk mengatur switching mosfet yang terdapat pada dc-dc konverter sebagai sumber tegangan terkontrol. Sumber ini akan digunakan untuk mengatur tegangan masukan jangkar sehingga pengaturan kecepatan pada motor pun dapat tercapai.

## **2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN**

### **2.1 Perencanaan Motor DC Penguat Terpisah**

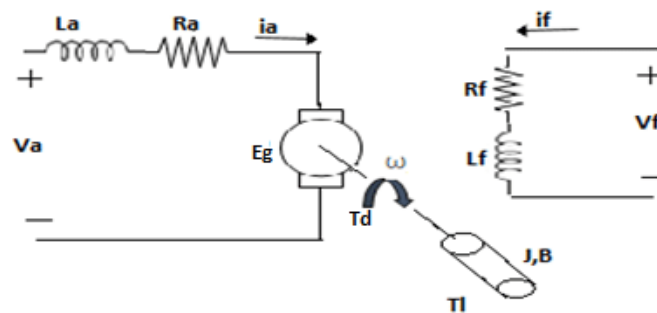
Motor DC merupakan salah satu jenis dari perangkat konversi energi yang merubah energi listrik menjadi energi mekanis. Motor listrik ini digunakan pada berbagai aplikasi di industry dengan

segala kebutuhannya. Salah satu jenis dari Motor DC adalah Motor DC penguat terpisah [8]. Motor DC penguat terpisah memiliki sumber DC yang terpisah antara penguatan yang terdapat pada jangkar dan penguatan yang terdapat pada medan.

Sehingga motor jenis ini mampu dikendalikan dengan beberapa cara seperti, mengatur tegangan jangkar, mengatur tegangan medan dan mengtur tahanan jangkar untuk melakukan pengaturan kecepatan [9]. Rangkaian motor DC penguat terpisah dapat dilihat pada gambar 1. Sehingga jika menggunakan hukum kirchoff (KVL) maka akan didapatkan formulasi (1) berikut

ini:

$$E_a(t) = R_a \cdot I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + e_b \quad (1)$$



**Gambar 1** Rangkaian Ekuivalen Motor DC Penguat Terpisah

Dimana:

- Ea : Tegangan Jangkar (V)
- Ra : Tahanan Jangkar ( $\Omega$ )
- Ia : Arus Jangkar (A)
- La : Induktansi pada Jangkar (H)
- Eg : Back emf (V)

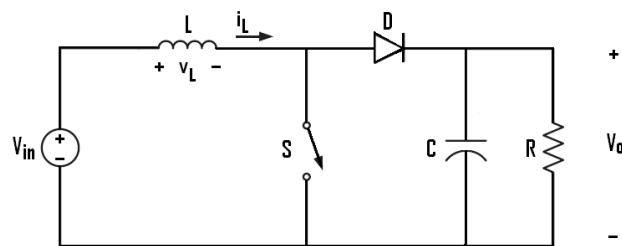
Parameter yang digunakan pada jurnal ini untuk membangun Motor DC Penguat Terpisah dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1** Parameter Perencanaan Motor DC Penguat Terpisah

Name	Value
Power (Hp)	5
Tegangan Medan (V)	300
Tegangan Jangkar (V)	240
Kecepatan Putar Nominal (RPM)	1750
Tahanan Jangkar ( $\Omega$ )	2.581
Induktansi Jangkar (H)	0.028
Tahanan Medan ( $\Omega$ )	281.3
Induktansi Medan H	156
Total Intertia	0.02215
Viscous Friction Coefficient	0.002953

## 2.2 Perencanaan Desain Boost Konverter

Boost converter merupakan salah satu jenis dari seri rangkaian *DC-DC Converter* yang memiliki karakteristik untuk menaikkan sebuah tegangan keluaran yang lebih besar daripada tegangan masukannya berdasarkan nilai *duty cycle* yang dihasilkan untuk melakukan *switching* pada sebuah mosfet [10]. Boost converter atau bisa disebut sebagai *step-up converter* memiliki beberapa komponen penting didalamnya. Dimulai dari sebuah inductor, mosfet, diode dan sebuah kapasitor. Dimana koverter ini memiliki skema Ketika saklar MOSFET ditutup maka arus yang terdapat di inductor akan naik (energi tersimpan di inductor naik). Saat saklar dibuka maka arus inductor akan mengalir menuju beban melewati diode [11]. Gambar 2 merupakan rangkaian dari boost converter.



**Gambar 2** Rangkaian Boost Converter.

Dari gambar 2, dapat terlihat bahwa Boost Converter dapat dianalisa dari dua kondisi, dimana kondisi pertama ketika saklar tertutup dan yang kedua ketika saklar terbuka [12]. Untuk melakukan desain konverter maka dibutuhkan desain parameter yang ditunjukkan pada tabel 2.

**Tabel 2** Desain Parameter dari Boost Converter

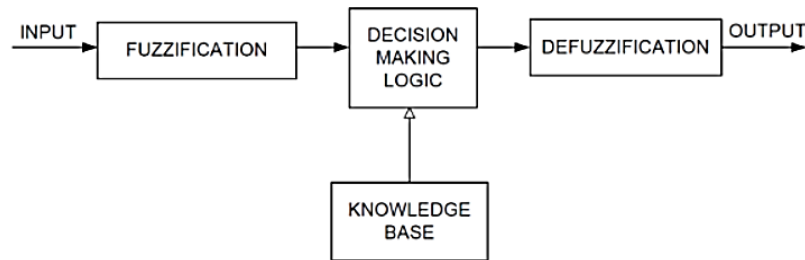
Name	Value
Voltage (V)	80
Inductor (H)	1250e-6
Minimum Inductor (H)	125e-6
Capacitor (F)	10000e-6
Output Current (A)	1
Output Voltage	240
Duty Cycle	0.65
Frekuensi Switching	10 kHz
Ripple Inductor Current	20%
Ripple Output Voltage	0.1%

Untuk melakukan desain sebuah konverter maka terdapat 3 komponen yang dapat dihitung yaitu mencari nilai Induktansi , Mencari nilai resistansi dan mencari nilai kapasitasi yang akan digunakan pada rangkaian boost konverter.

## 2.3 Perencanaan Desain Fuzzy Logic Control

Fuzzy logic kontrol merupakan sebuah kontrol sistem yang menggunakan sebuah variabel linguistic sebagai masukan dan keluaran dari sebuah kontrol sistem tersebut. Fuzzy logic memiliki

kelebihan ketika sebuah sistem yang memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi sehingga membuat pemodelan matematika dari sistem tersebut semakin susah sehingga kontrol sistem fuzzy logic ini dapat diandalkan [13]. Fuzzy logic memiliki beberapa metode inferensi seperti Mamdani, sugeno dan sukamoto. Pada jurnal ini digunakan metode sugeno dalam logika fuzzy kontrol yang digunakan. Metode sugeno memiliki penalaran yang sama dengan metode mamadani akan tetapi hasil atau keluaran dari metode sugeno tidak berupa himpunan – himpunan fuzzy layaknya pada metode Mamdani akan tetapi keluaran metode sugeno berupa konstanta atau persamaan linear [14]. Tahapan kontrol logika fuzzy yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.

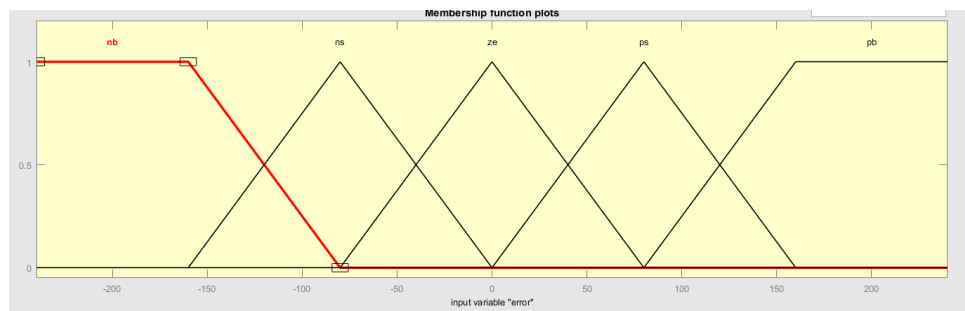


**Gambar 3** Tahapan dalam kontrol logika fuzzy.

Pada kontrol logika fuzzy, dibagi menjadi beberapa tahapan kontrol dalam yaitu :

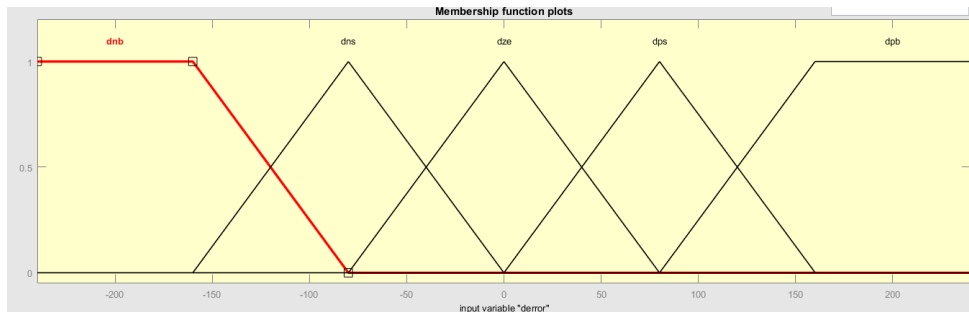
- Fuzzyfikasi,
- Evaluasi Rule Base,
- Penentuan pilihan,
- Defuzzifikasi.

Pada jurnal ini konfigurasi fuzzy yang digunakan berupa *Multi Input Single Output* (Miso) yang berarti fuzzy yang didesain ini akan memiliki dua input dan satu output. Pada studi ini input tersebut berupa error dan perubahan error. Dimana error didapatkan dari perbedaan nilai referensi dengan nilai actual. Sedangkan perubahan error merupakan perbedaan nilai error terbaru dengan error sebelumnya. Pada jurnal ini Membership function dari error dapat dilihat pada gambar 4. terdiri dari 5 fuzzy subset dengan range data -200 hingga 200. Dengan konfigurasi variable NB (Negative Big), NS (Negative Small), Z (Zero), PS(Positive Small), PB(Positive Big).



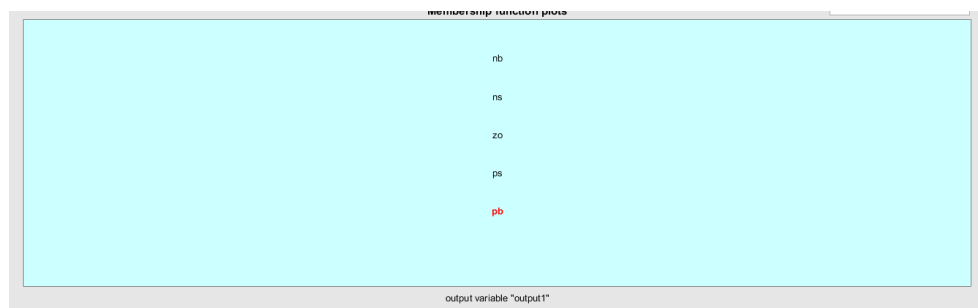
**Gambar 4** Membership Function dari Error  $e(t)$

Sedangkan untuk membership function dari derror dapat ditunjukkan pada Gambar 5 yang terdiri dari 5 fuzzy subset dengan range data -200 hingga 200. Memiliki konfigurasi variable dNB (Derivative Negative Big), dPS (Derivative Positive Small), dZ (Derivative Zero), dPS (Derivative Positive Small) & dPB (Derivative Postive Big).



**Gambar 5** Membership Function dari derror  $de(t)$

Sementara untuk output dari logika kontrol fuzzy ini memiliki nilai konstanta atau persamaan linear dikarenakan metode inferensi fuzzy yang digunakan adalah dengan metode sugeno. Pada jurnal ini output fuzzy yang dipilih menggunakan nilai konstanta yang konstan sehingga nilai dari setiap variabel fuzzy hanya memiliki satu nilai dikarenakan nilai nya constant. Pada studi ini, penggunaan 5 variabel output dilakukan sehingga matriks rule base yang dibuat akan memiliki array  $5 \times 5$ . Konfigurasi output untuk logika fuzzy ini dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6** Membership Function dari output  $u(t)$ .

Setelah merancang sebuah membership function maka dapat dilanjutkan menuju Langkah selanjutnya yaitu Menyusun rule base. Rule base ini merupakan susunan kondisi yang dibangun atas dasar fungsi *IF – THEN* rules sehingga rules base memiliki statement conditional untuk setiap parameter yang telah dibuat dan disesuaikan dengan kondisi nyatanya [15]. Susunan rule base dari jurnal ini dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3** Rule Base Sugeno Inference System

$de(t) \backslash e(t)$	dNS	dNB	dZ	dPS	dPB
NB	NB	NB	NS	NS	Z
NS	NB	NS	NS	Z	PS
Z	NS	NS	Z	PS	PB
PS	NS	Z	PS	PB	PB

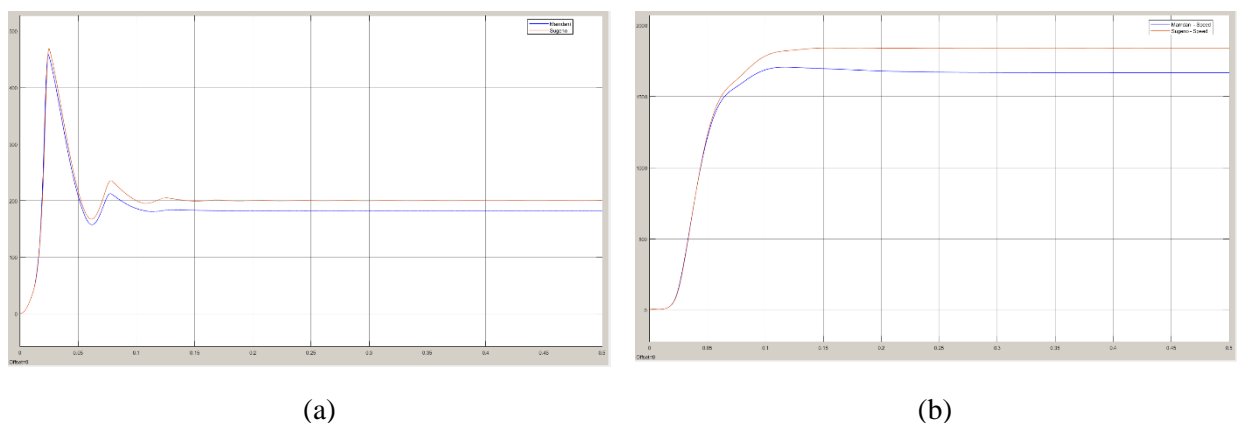


Sedangkan untuk data pengujian sistem menggunakan pendekatan Mamdani dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah ini:

**Tabel 5** Data Pengujian Motor DC Menggunakan Mamdani

Set Point	Vin (V)	Vo (V)	Ia(A)	If (A)	n (rpm)	w(rad/s)	Ess (%)
200	80	182	1,981	1,066	1667	174,5	9,89011
190	80	176,6	1,972	1,066	1620	169,7	7,587769
180	80	171,7	2,015	1,066	1571	164,6	4,834013
170	80	165,9	1,995	1,066	1519	159	2,471368
160	80	160	1,946	1,066	1463	153,2	0
150	80	154	1,908	1,066	1410	147,6	2,597403

Dari kedua data yang telah disajikan diatas dapat terlihat bahwa terdapat beberapa perbedaan nilai yang dimana dari sini dapat terlihat perbedaan penggunaan Mamdani dan sugeno pada sebuah sistem fuzzy logic control. Dimana pada data yang disajikan dengan menggunakan metode sugeno dalam hal interference pada fuzzy logic control, tegangan output pada saat set point 200 dapat mencapai 200,2 dengan error sebesar 0,099. Pada pengujian pertama ini perbedaan terlihat pada hasil tegangan output, kecepatan dan juga arus jangkar yang mengalir pada motor dc ini. Dimana ketika menggunakan metode Mamdani hanya akan mendapatkan hasil tegangan keluar sebesar 182 dengan error sebesar 9,89. Disini dapat terlihat bahwa pada pengujian pertama metode sugeno mampu menghasilkan output yang lebih besar dari metode Mamdani sehingga ketika reference value di set pada nilai 200 maka duty cycle yang dihasilkan oleh fuzzy untuk proses switching bisa diperloeh dengan tepat. Perbedaan nilai tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.

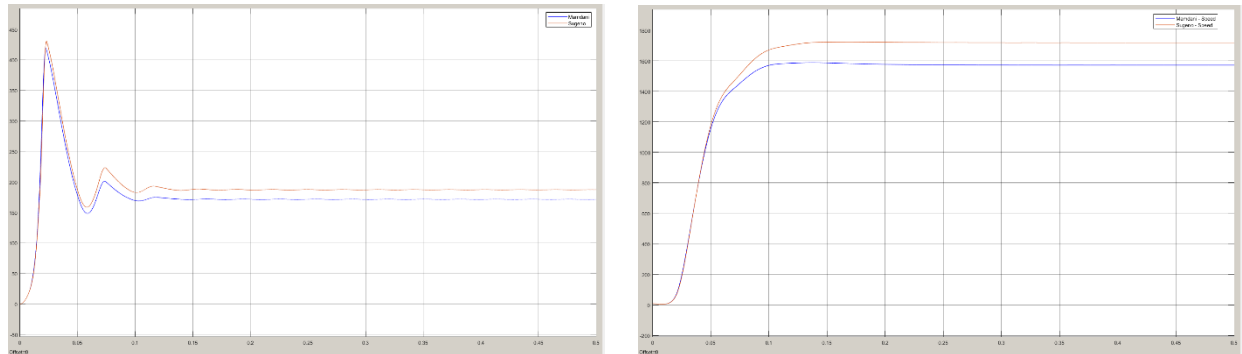


**Gambar 8** (a). Perbandingan Output Tegangan (b). Perbandingan Kecepatan pada Saat Set Point 200

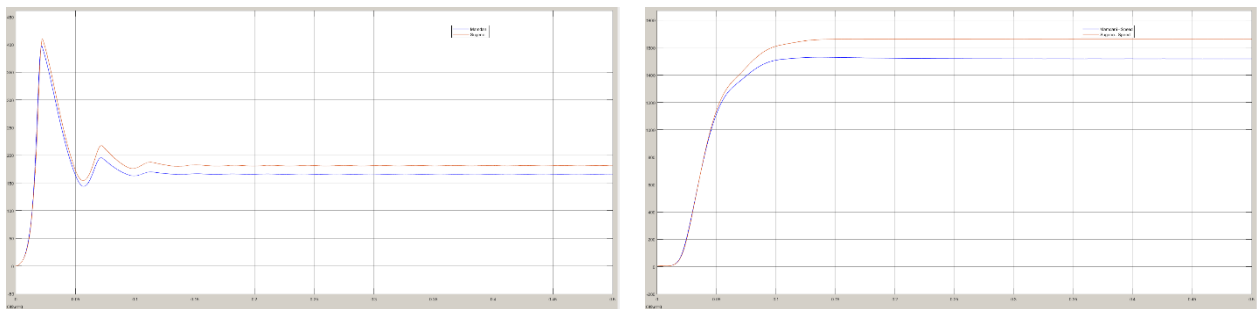
Pada Gambar 8 (a) terlihat bahwa perbedaan gelombang pada saat set point di atur menjadi 200 dan otomatis membuat perbedaan pada kecepatan pula. Yang menyebabkan perbedaan hasil kedua



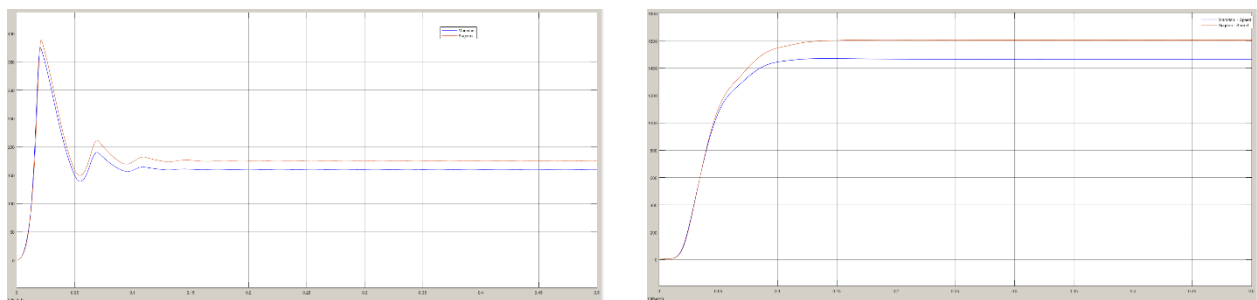
output ini adalah pada sisi output dimana ketika membuat output untuk sugeno konsekuen akan berbentuk nilai linear atau konstanta sehingga nilai maksimum dapat diatur dengan mudah sedangkan karena output pada mamdani berbentuk fuzzy subset seperti pada input yang terdapat pada fuzzy logic maka menyebabkan beberapa parameter akan lebih susah didefinisikan dengan pasti.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 9** Kurva Tegangan dan Kecepatan pada Set-Point (a). 180; (b). 170; (c). 160

Pada Set Point 160 pada gambar 9 (c), Terlihat bahwa mamdani lebih unggul jika dibandingkan dengan metode sugeno ditandai dengan error steady state 0 pada Mamdani sedangkan pada sugeno memiliki nilai 8,57%. Ini menunjukkan bahwa fuzzy yang didesain pada Mamdani bekerja optimal pada tegangan dibawah 170V. Sedangkan pada desain fuzzy sugeno akan lebih kecil errornya pada saat tegangan diatas 170V. Sedangkan untuk data response pada kurva dapat dilihat pada tabel 6.

**Tabel 6** Data respons rata rata pada setiap pengujian

FIS	Rise Time	Overshoot
Mamdani	1,577	15,11
Sugeno	2,5366	8,94

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan simulasi, pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada sistem kontrol kecepatan pada motor DC menggunakan *fuzzy logic control* dengan Sugeno Fuzzy interference system maka didapatkan kesimpulan bahwa :

- 1) Metode Sugeno dalam *fuzzy interference system* lebih dinamis dan adaptif dalam melakukan desain sehingga desain parameter dapat disesuaikan dengan desain sistem terbaru.
- 2) Sugeno memiliki mathematical expression yang lebih rumit jika dibandingkan dengan Mamdani dimana pada defuzzifikasi dengan Mamdani akan didapatkan hasil berupa variable linguistik yang sama dengan fuzzy set sebelumnya sedangkan sugeno didapatkan hasil persamaan linear sehingga lebih rumit untuk melakukan desain pada sugeno.
- 3) Metode sugeno memiliki Rise time yang lebih lama dengan angka 2,536 ms sedangkan Mamdani memiliki rise time 1,577 ms akan tetapi sugeno memiliki prosentasi overshoot yang rendah dengan 8,94% dibandingkan dengan 15,11% untuk Mamdani
- 4) Metode Sugeno memiliki rata rata error sebesar 5,7%.

#### DAFTAR PUSTAKA [11 pts/Bold]

- [1] M. George, "Speed control of separately excited DC motor.," in *American journal of applied sciences* , 2008.
- [2] K. Prahlad and K. Nirmal, "Speed control of," *Turkish Journal of fuzzy systems*, vol. 1, pp. 36-54, 2011.
- [3] Bachri, Samsul and H. Samsul, "Sistem kendali Hybrid PID-Logika Fuzzy Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC," *Makara Teknol*, vol. 8, no. 1, pp. 25-34, 2004.
- [4] M. G. Simoe, "Introduction to fuzzy control," Colorado School of Mines, Engineering Division, Golden, Colorado 8 , 2010.
- [5] Y. A. Almatheel and A. Abdelrahman, "Speed control of DC motor using Fuzzy Logic Controller," in *International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE)*, Khartoum, 2017.
- [6] W. & F. M. A. & M. H. M. Elsrogy, "Speed control of DC motor using PID controller based on artificial intelligence techniques," in *International Conference on Control, Decision and Information Technologies*, 2013.
- [7] N. Ismail, K. Zakaria, N. Shiema, M. Syaripuddin, A. Mokhtar and S. Thanakodi, "DC motor speed control using fuzzy logic controller," in *AIP Conference Proceedings*, 2018.
- [8] Y. a. A. A. Arifin, "Pemodelan dan Pengendalian Motor DC Menggunakan Simulasi Matlab," *MEKTEK*, vol. 12, no. 2, 2010.

- [9] A. A. Sadiq, G. A. Bakare, E. C. Anene and H. B. Mamman, "A fuzzy-based speed control of DC motor using combined armature voltage and field current.," in *3rd IFAC Conference on Intelligent Control and Automation Science ICONS*, 2013.
- [10] B. M. a. A. A. E. M. Hasaneen, "Design and simulation of DC/DC boost converter," in *12th International Middle-East Power System Conference*, 2008.
- [11] M. H. Rashid, *Power Electronics: Circuits, Devices*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs,, 1993.
- [12] D. W. Hart, *Power electronics*, Tata McGraw-Hill Education, 2011.
- [13] A. A. e. a. Firdaus, "Design and simulation of fuzzy logic controller for boost converter in renewable energy application," in *IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*, 2013.
- [14] Saputri, A. Dwi, R. D. Ramadhani and R. Adhitama., "Logika Fuzzy Sugeno Untuk Pengambilan Keputusan Dalam Penjadwalan Dan Pengingat Service Sepeda Motor," *Journal of Informatics, Information System, Software Engineering and Applications (INISTA)*, vol. 2, no. 1, pp. 49-55, 2019.
- [15] R. Rakhmawati, Irianto, F. D. Murdianto and G. T. I. Syah, "Performance Evaluation of Speed Controller Permanent DC Motor in Electric Bike Using Fuzzy Logic Control System," in *International Seminar on Application for Technology of Information and Communication*, Semarang, 2018.

