

# Multiple Output Buck Converter (SIMO) untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah Berbasis *Fuzzy Logic Control*

Farhan Fabianto<sup>1</sup>, Suhariningsih<sup>2</sup>, Rachma Prilian Eviningsih<sup>3</sup>

<sup>1 2 3</sup> Jurusan Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
Email: farhanfabianto01@gmail.com, nuning@pens.ac.id, rachmaevin@pens.ac.id

**Abstract**—DC motor is a device that functions to convert electrical energy into kinetic energy. This device can be called a Direct Current Motor and this device has 2 voltage inputs, namely the Armature coil and the Field coil, so that it can move it.

In the classification of DC motors, many types of DC motors are used. In this journal, the DC motor used is a Separately Excited DC motor. As the name implies, this DC motor has two input voltages that have individual sources, one of which is to supply voltage to the armature coil and one of which is to supply voltage to the field coil.

In this journal, a SIMO Buck Converter modeling that has multiple output voltages is used to supply a Separate Amplifier DC motor and adjusts the speed using the input voltage setting on the Separately Excited DC motor. To regulate the speed of a Separately Excited DC motor, a voltage setting is needed in such a way as to achieve the desired speed by adjusting the Duty Cycle at each output on the converter using Fuzzy Logic Control, so that the voltage regulation coming out of the converter is smooth and does not cause overshoot when using for supply Separately Excited DC motor. The simulation results show that before fuzzy controlled, DC motor has a rise time of 1.306s, and to reach a steady-state condition from 0s is 1.585s, after fuzzy controlled, DC motor has a rise time of 445.556ms, to reach a steady-state from 0s is 668,683 ms, and has an overshoot of 11 RPM from the settled setpoint. When a DC motor with SIMO buck converter controlled by fuzzy logic is disturbed at 0.4s the fuzzy response is very good, and when the setpoint is changed to 1000 RPM and 500 RPM the response from the fuzzy is very good.

**Index Terms**— Fuzzy Logic Control, Separately Excited DC Motors, SIMO Buck Converter, Voltage Control

**Abstrak**—Motor DC merupakan suatu perangkat yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi kinetik. Perangkat ini dapat disebut sebagai Motor Arus Searah dan perangkat ini memiliki 2 input tegangan yaitu kumparan jangkar dan kumparan medan, agar dapat menggerakannya

Didalam klasifikasi Motor DC, banyak sekali jenis Motor DC yang digunakan. Pada jurnal ini, motor DC yang digunakan adalah motor DC penguat terpisah. Sesuai namanya, motor DC ini mempunyai dua tegangan masukan yang mempunyai sumber individu, yang mana salah satunya untuk menyuplai tegangan pada kumparan jangkar dan salah satunya untuk menyuplai tegangan pada kumparan medan

Pada jurnal ini akan dibuat sebuah pemodelan *SIMO Buck Converter* yang mempunyai tegangan keluaran banyak yang digunakan untuk menyuplai Motor DC Penguat Terpisah dan mengatur kecepatan menggunakan pengaturan tegangan masuk pada motor DC penguat

terpisah. Untuk mengatur kecepatan dari motor DC penguat terpisah, maka dibutuhkan pengaturan tegangan sedemikian rupa guna mencapai kecepatan yang diinginkan dengan cara mengatur *Duty Cycle* pada setiap keluaran pada konverter menggunakan *Fuzzy Logic Control*, agar pengaturan tegangan keluar dari konverter menjadi halus dan tidak menimbulkan *Overshoot* disaat menggunakan untuk menyuplai motor DC penguat terpisah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sebelum adanya kontrol *fuzzy* motor DC memiliki *rise time* sebesar 1.306s, dan untuk mencapai kondisi *steady state* dari 0s sebesar 1.585 sedangkan setelah adanya kontrol *fuzzy* Motor DC memiliki *rise time* sebesar 445.556ms, untuk mencapai kondisi *steady state* dari 0s sebesar 668.683ms, dan mempunyai overshoot sebesar 11 RPM dari *setpoint* yang telah ditentukan. Ketika Motor DC dengan logika *fuzzy* diberi gangguan pada detik 0,4s respon *fuzzy* sangat baik, dan Ketika dirubah *setpoint* menjadi 1000 RPM dan 500 RPM respon dari *fuzzy* sangat bagus.

**Kata Kunci**— *Fuzzy Logic Control*, Motor DC Penguat Terpisah, Pengaturan Tegangan, *SIMO Buck Converter*

## I. PENDAHULUAN

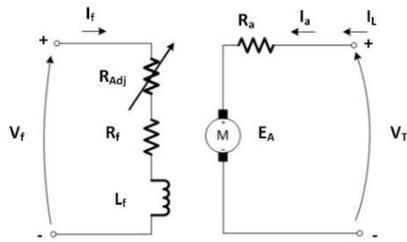
Secara umum, motor DC dapat dijumpai pada berbagai bidang, baik industri maupun alat-alat elektronik. Dari berbagai perangkat mesin listrik, motor DC sendiri memiliki banyak keunggulan antara lain pengoperasiannya memiliki berbagai variasi operasi mulai dari yang kecil hingga besar, mudah dikendalikan, dan memiliki kenadalan yang tinggi [1]. Di dalam bidang industry, motor DC dapat digunakan pada konveyor *drive* dan berbagai alat produksi lainnya [2].

Pada penelitian ini menggunakan motor DC penguat terpisah yang akan disuplai oleh DC-DC SIMO Buck Converter. Converter ini memiliki 2 keluaran yang mana natinya berguna untuk menyuplai kumparan medan dan kumparan jangkar dari motor DC penguat terpisah. Kontrol yang digunakan adalah logika *fuzzy*. Salah satu keuntungan teknik logika *fuzzy* dalam menyediakan kendali nonlinier, yaitu mampu melakukan tindakan kendali untuk sistem nonlinier kompleks bahkan untuk sistem nonlinier yang tidak pasti. Dalam beberapa artikel, penyesuaian parameter pada pengontrol online dapat meningkatkan kinerja dan kekokohan sistem yang telah dikontrol dengan menggunakan logika Fuzzy [3].

II. TEORI PENUNJANG

A. Motor DC Penguat Terpisah

Rangkaian ekuivalen dari Motor DC Penguat Terpisah dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar. 1. Rangkaian Ekuivalen Motor DC Penguat Terpisah

Dari gambar rangkaian ekuivalen diatas maka dapat diketahui bahwa motor DC penguat terpisah, maka motor ini dapat diatur kecepatan putarnya. Pengaturan kecepatan dibawah nominal untuk motor jenis ini dapat dilakukan dengan cara mengatur tegangan jangkar [4]. Tidak disarankan untuk mengatur kecepatan menggunakan tegangan medan dikarenakan akan merusak lapisan email pada tembaga yang digunakan, dengan itu dapat menyebabkan motor short circuit [5].

Hubungan antara kecepatan dan tegangan jangkar dapat dilihat pada persamaan (1), (2), (3). Parameter dari motor DC penguat terpisah dapat dilihat pada Tabel 1. Persamaan torsi pada motor DC penguat terpisah yaitu

$$T_d = j \frac{dw}{dt} + T_L \tag{1}$$

Arus pada kumparan jangkar yaitu

$$I_a(s) = j \frac{V_a - k\phi \omega}{R_a(1 + \frac{L_a s}{R_a})} \tag{2}$$

Kecepatan pada motor,

$$\omega(s) = \frac{T_d - T_L}{J_s} = \frac{K\phi I_a - T_L}{J_s} \tag{3}$$

Transfer fungsi dari motor DC penguat terpisah yaitu

$$\begin{aligned} \frac{\omega(s)}{V_a(s)} &= \frac{\frac{k\phi}{R_a J_s (1 + T_a s)}}{1 + \frac{k\phi}{R_a J_s (1 + T_a s)}} \\ &= \frac{\frac{1}{k\phi}}{1 + s T_m (1 + s T_a)} \\ &= \frac{\frac{1}{k\phi}}{k_m (1 + s T_m + s^2 T_a T_m)} \end{aligned} \tag{4}$$

Dikarenakan konstanta waktu dari kumparan jangkar maka,  $T_a$  jauh lebih kecil daripada waktu elektromekanis [5].

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{1}{k_m (1 + s T_m + s^2 T_a T_m)} \tag{5}$$

Keterangan:

- $T_d$  = Torsi dalam (NM)
- $T_L$  = Torsi kondisi berbeban dalam (NM)
- $J$  = Momen inersia dalam ( $kg/m^3$ )
- $R_a$  = Tahanan jangkar (NM)
- $\phi$  = Fluks kumparan medan
- $k$  = konstanta Back EMF
- $L_a$  = Induktansi kumparan jangkar (H)
- $T_a$  = Konstanta waktu kumparan jangkar
- $\omega$  = Kecepatan sudut (rad/sec)

$T_m$  = Konstanta waktu elektromekanis

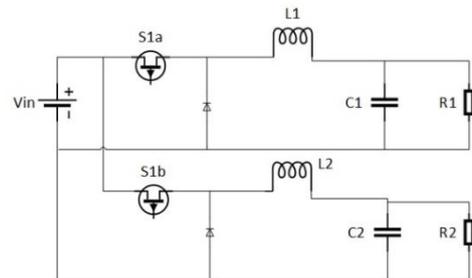
Parameter yang digunakan pada Motor DC penguat terpisah dapat dilihat pada Tabel. 1.

TABEL I. PARAMETER MOTOR DC PENGUAT TERPISAH

| Parameter         | Nilai | Satuan |
|-------------------|-------|--------|
| Daya Nominal      | 1,5   | kW     |
| Tegangan Jangkar  | 100   | V      |
| Tegangan Medan    | 40    | V      |
| Arus Jangkar      | 20    | A      |
| Arus Medan        | 1     | A      |
| Arus output total | 21    | A      |
| Kecepatan Nominal | 1500  | RPM    |

B. DC-DC SIMO Buck Converter

Topologi DC-DC SIMO Buck Converter ditunjukkan pada Gambar. 2.



Gambar. 2. Rangkaian Ekuivalen DC-DC SIMO Buck Converter

Pada converter ini mempunyai dua keluaran tegangan yang mana berguna untuk menyuplai kumparan jangkar dan kumparan medan pada Motor DC penguat terpisah. Parameter yang digunakan pada SIMO Buck Converter dapat dilihat pada Tabel. 2.

Cara kerja dari rangkaian DC-DC SIMO Buck Converter dapat dijelaskan sebagai berikut [6]. Untuk switching pada rangkaian SIMO Buck Converter diatas masing – masing mosfet diberi driver PWM tersendiri dengan suplai tersendiri juga, pada jurnal ini hanya menggunakan 2 rangkaian paralel Buck Converter yang disuplai menggunakan 1 masukan saja. Dari rangkaian diatas dapat dilihat bahwa saat S1a pada kondisi State-On berguna untuk men-charge induktor L1, ketika S1a berada pada kondisi State-Off hasil dari charge pada L1 tersebut langsung mengarah ke beban, seperti itu juga pada L2 dan S2a [6] [7].

TABEL II. PARAMETER DC-DC SIMO BUCK CONVERTER

| Parameter                | Nilai   | Satuan   |
|--------------------------|---------|----------|
| Tegangan input           | 140     | V        |
| Tegangan output Armature | 100     | V        |
| Tegangan output Field    | 40      | V        |
| Arus output Armature     | 20      | A        |
| Arus output Field        | 1       | A        |
| Arus output total        | 21      | A        |
| Ripple tegangan          | 0.1     | %        |
| Rippel arus output       | 20      | %        |
| Frekuensi switching      | 40      | kHz      |
| Duty cycle Armature      | 0,71    | -        |
| Duty cycle field         | 0,28    | -        |
| Beban Armature           | 5       | $\Omega$ |
| Beban Field              | 40      | $\Omega$ |
| Induktor Armature        | 178,571 | $\mu$ H  |
| Induktor Field           | 357,142 | $\mu$ H  |
| Kapasitor Armature       | 125     | $\mu$ F  |
| Kapasitor Field          | 156,25  | $\mu$ F  |

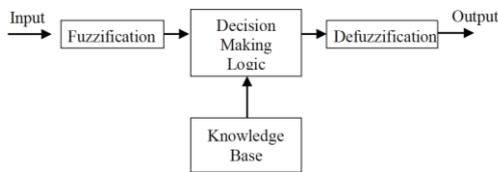
Pada S1a dan S1b, sistem menggunakan dioda agar rangkaian buck converter dapat berproses secara close loop. Ketika arus yang disimpan pada induktor sudah mulai habis, arus tidak menyuplai ke rangkaian buck converter yang lain tapi langsung menuju kutub negatif pada sumber dc [7].

### C. Kontrol Logika Fuzzy

Pengontrolan fuzzy dapat memenuhi apa yang dibutuhkan selayaknya pengontrolan konvensional. Namun ada yang berbeda dalam hal pengelolaan ruang, dalam hal ini fuzzy mengelola ruang kompleks kendali secara heuristic. Fuzzy pula dapat melakukan sebuah pendekatan dengan tingkat presisi dari segala tingkat, dan kontrol linear dan non-linear [8].

Pada banyak kondisi, kontrol fuzzy lebih mudah didapatkan dengan kinerja yang tinggi dibandingkan pengontrol konvensional dengan kinerja yang sama[9]. Dibandingkan dengan sistem kontrol konvensional, sistem dengan kontroler logika fuzzy memiliki kemudahan-kemudahan yang tidak ada pada sistem kontrol konvensional.

Sebuah kontroler logika Fuzzy tidak perlu mencari model matematis dari sebuah plant. Kontroler yang berbasis fuzzy mempunyai beberapa tahap sebelum dihubungkan ke *plant*. Tahapan tersebut yaitu fuzzyfikasi, penentuan rule base, penentuan data base kemudian defuzzyfikasi[10]. Tahap fuzzifikasi disajikan seperti pada Gambar 3.



Gambar. 3. Struktur umum logika fuzzy

Tahap fuzzyfikasi berfungsi untuk merubah suatu besaran analog menjadi *fuzzy input*. Proses fuzzyfikasi awal yaitu suatu besaran analog dimasukkan sebagai masukan (*crisp input*). Kemudian, sinyal masukan tersebut dimasukkan pada batas *scope/domain*, sehingga masukan tersebut dapat dinyatakan dengan label. *Rule base* adalah sekelompok aturan *fuzzy* dalam berhubungan dengan keadaan sinyal masukan dan sinyal keluaran. Proses evaluasi *rule* ini berfungsi untuk mencari suatu nilai *fuzzy output* dari *fuzzy input* [11].

Tahap defuzzifikasi berfungsi untuk menentukan suatu nilai *crisp output*. Dalam defuzzifikasi, seluruh keluaran *fuzzy* yang signifikan, akan dikombinasikan kedalam variabel keluaran yang spesifik, dan hasil yang komprehensif [12]. Pada jurnal ini proses fuzzifikasi menggunakan metode Sugeno, *fuzzy* tipe Sugeno diusulkan dalam upaya mengembangkan pendekatan sistematis untuk menghasilkan fuzzy aturan dari kumpulan data input-output tertentu [13]. Aturan tipikal dalam model Sugeno, yaitu memiliki dua masukan *x* dan *y* dan keluaran *z*, memiliki bentuk

IF *x* adalah *A* and *y* adalah *B*, THEN *z* adalah  $z = f(x,y)$

Proses defuzzifikasi menggunakan metode *Weighted Average*. Metode *weighted average* adalah metode yang paling sering digunakan dalam pengaplikasian kontrol logika fuzzy, dikarenakan metode *weighted average* salah satu metode yang lebih efisien [14]. Metode *weighted average* sendiri dapat diekspresikan oleh bentuk aljabar sebagai persamaan (6) berikut.

$$z^* = \frac{\sum \mu_c(z) x z}{\sum \mu_c(z)} \quad (6)$$

Dimana  $\Sigma$  menunjukkan jumlah aljabar dan dimana *z* adalah sentroid dari tiap simetris fungsi keanggotaan.

### III. METODOLOGI

Penggunaan logika fuzzy pada jurnal ini digunakan untuk mengatur *duty cycle* pada salah satu keluaran DC-DC SIMO Buck Converter, dimana berfungsi sebagai suplai untuk kumparan jangkar yang nantinya dapat mengatur dan menjaga kecepatan Motor DC penguat terpisah pada *setpoint* yang telah ditentukan[3]. Flowchart penggunaan logika fuzzy dapat dilihat pada Gambar. 4.

Sistem logika fuzzy yang di desain mempunyai 2 input yaitu *error* dan  $\Delta error$  didefinisikan dengan rumus (7) dan (8).

$$Error(t) = Referensi - RPM \text{ aktual} \quad (7)$$

$$\Delta error = Error(t) - Error(t-1) \quad (8)$$

*Output* yang dihasilkan oleh logika *fuzzy* berupa *duty cycle* yang mana digunakan rumus (9).

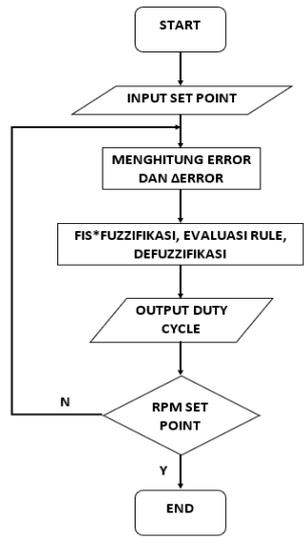
$$duty(t) = duty(t-1) + \Delta duty \quad (9)$$

*Rule base* digunakan untuk menentukan aksi kontrol yang diinginkan sesuai dengan perencanaan sistem control yang telah direncanakan operator. Dalam hal ini, aturan *fuzzy* yang digunakan dalam bentuk pernyataan *IF-THEN*. *Rule base* tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Gambar 5 menampilkan *membership function* dari input *Error* dan Gambar 6 menampilkan *membership function* dari input *Derror* (Delta Error). Adapun *membership function* tersusun oleh NB sebagai *Negative Big*, NM sebagai *Negative Medium*, NS sebagai *Negative Small*, Z sebagai *Zero*, PS sebagai *Positive Small*, PM sebagai *Positive Medium*, PB sebagai *Positive Big*.

### IV. HASIL SIMULASI

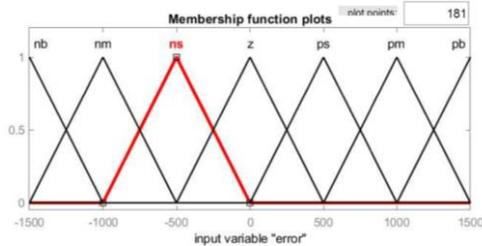
Pada bagian ini ditujukan untuk memodelkan DC-DC SIMO Buck Converter dan ketika logika *fuzzy* yang berguna untuk meningkatkan dari kinerja *converter*. Permodelan dan simulasi ini dilakukan ada aplikasi MATLAB R2020a. Permodelan menggunakan MATLAB dapat dilihat pada Gambar. 7.



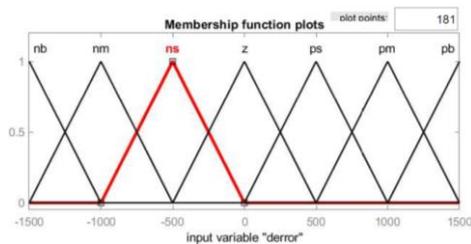
Gambar. 4. Flowchart kontrol logika fuzzy

TABEL. III. RULE BASE

| E/dE | NB  | NM  | NS  | Z   | PS  | PM  | PB  |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| NB   | USB | USB | USB | USM | USS | USS | Z   |
| NM   | USB | USB | USM | USS | USS | Z   | OSS |
| NS   | USB | USM | USS | USS | Z   | OSS | OSS |
| Z    | USM | USS | USS | Z   | OSS | OSS | OSM |
| PS   | USS | USS | Z   | OSS | OSS | OSM | OSB |
| PM   | USS | Z   | OSS | OSS | OSM | OSB | OSB |
| PB   | Z   | OSS | OSS | OSM | OSB | OSB | OSB |



Gambar. 5. Membership function dari input Error



Gambar. 6. Membership function dari input DError (Delta Error)

Dari hasil simulasi pada Gambar 8, grafik berwarna biru adalah grafik motor DC penguat terpisah tanpa adanya logika fuzzy, grafik berwarna merah adalah respon motor DC penguat terpisah dengan adanya logika fuzzy, dan grafik berwarna oranye adalah *setpoint* kecepatan yang diharapkan dari motor DC penguat terpisah yang diharapkan. Pada Gambar 9, ketika diberi gangguan pada detik ke 0,4 s, controller fuzzy dapat mengembalikan dari adanya gangguan yang dipicu oleh sinyal *step* menuju kondisi *steady state* pada *setpoint* 1500RPM.

Pada Gambar 10 menunjukkan respon motor DC penguat terpisah pada kondisi *rise time* tanpa logika fuzzy

sebesar 1,306 s. Gambar 11 menunjukkan respon Motor DC penguat terpisah pada kondisi *rise time* menggunakan logika fuzzy sebesar 445,556 ms. Pada Gambar 12, motor DC penguat terpisah menggunakan logika fuzzy memiliki *overshoot* yang mencapai nilai sebesar 1511 RPM sedangkan motor DC penguat terpisah tanpa logika fuzzy tidak memiliki *overshoot*.

Pada Gambar 13, kondisi *steady state* pada motor DC penguat terpisah tanpa logika fuzzy membutuhkan waktu sebesar 1,585s untuk mencapai kondisi *steady state* dimulai dari kondisi 0, dan pada Gambar 14. Kondisi *steady state* pada motor DC penguat terpisah menggunakan logika fuzzy memiliki waktu sebesar 668,683 ms untuk mencapai kondisi *steady state* dimulai dari kondisi 0. Pada Gambar 15 dan Gambar 16, *setpoint* pada motor DC penguat terpisah menggunakan logika fuzzy diubah-ubah sebesar 1000 RPM dan 500 RPM. Respon yang terjadi pada grafik menunjukkan tidak ada *ripple* dan osilasi yang terlalu besar.

## V. KESIMPULAN

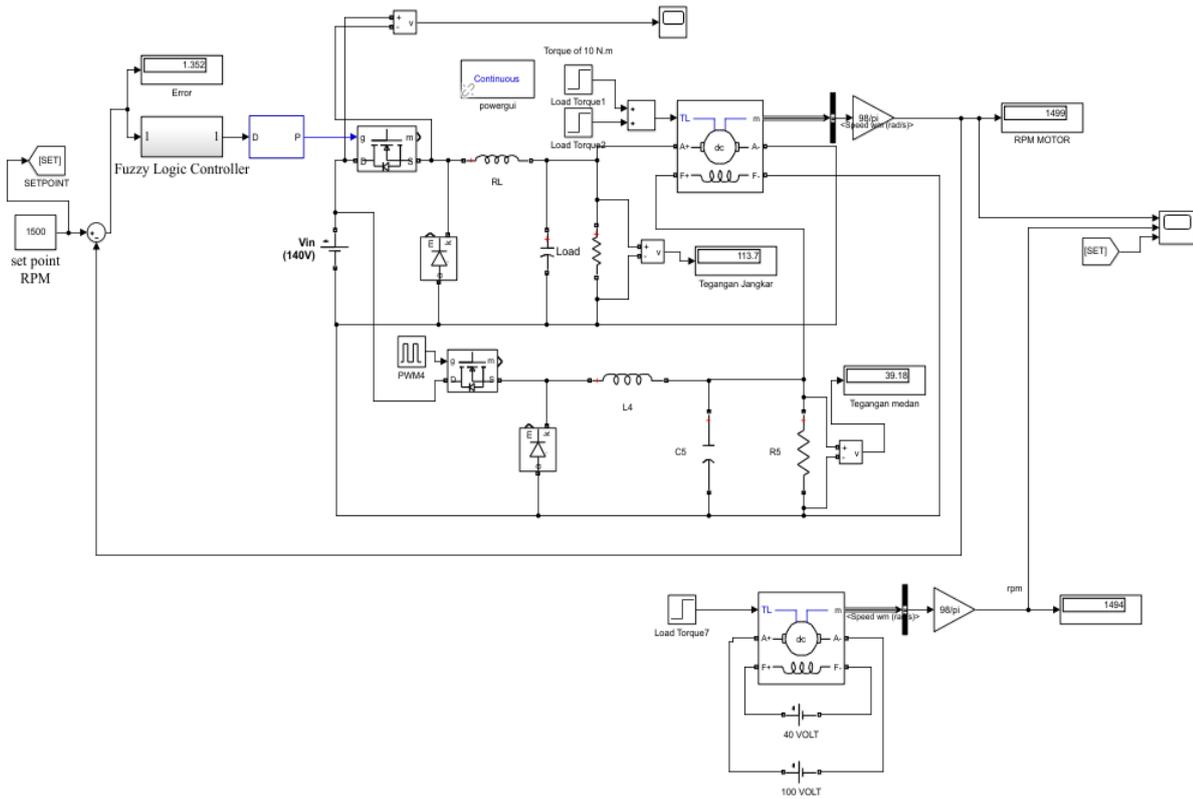
Dari simulasi permodelan diatas, dapat diambil beberapa kesimpulan. Pertama bahwa simulasi yang dilakukan sistem dapat bekerja sebagai pengaturan kecepatan pada motor DC penguat terpisah. Hal ini ditunjukkan ketika *setpoint* dari logika fuzzy diubah sesuai dengan yang diharapkan, respon yang terjadi pada motor DC penguat terpisah, sesuai yang diharapkan.

Respon yang ditunjukkan oleh logika fuzzy pada motor DC penguat terpisah berjalan baik, antara lain dapat dilihat bahwa dengan adanya kontrol fuzzy pada sistem dapat mempercepat respon pada sistem agar mencapai *setpoint* yaitu 1500RPM. Pada hasil simulasi terdapat osilasi pada sistem, namun untuk mencapai kondisi *steady state* hasilnya cukup bagus. Ketika diberi gangguan berupa sinyal *step* pada waktu 0,4s, logika fuzzy dapat mengembalikan sesuai dengan *setpoint* yang diharapkan.

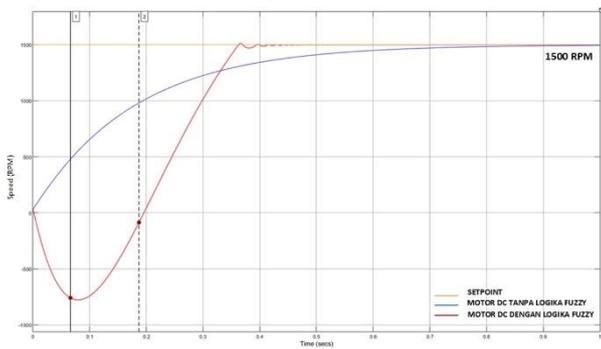
*Rise time* pada motor DC penguat terpisah dengan pengaturan logika fuzzy lebih cepat 860,44 ms. Untuk mencapai kondisi *steady state*, motor DC penguat terpisah dengan logika fuzzy lebih cepat 0.91s. Namun, motor DC penguat terpisah menggunakan logika fuzzy memiliki *overshoot* yang mencapai nilai sebesar 1511 RPM, sedangkan motor DC penguat terpisah tanpa logika fuzzy tidak memiliki *overshoot*.

## ACKNOWLEDGMENT

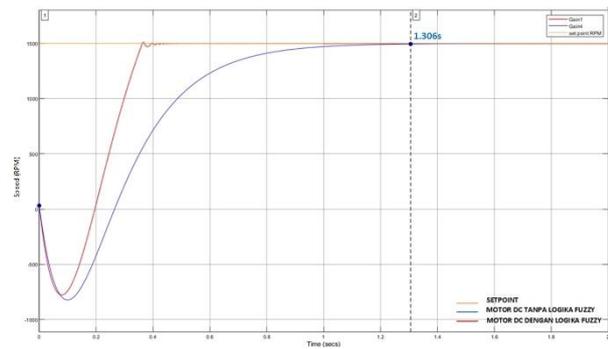
Penulis sangat berterima kasih kepada Ibu Suhariningsih dan Ibu Rachma Prilian Eviningsih, yang mana telah membimbing penulis dalam pembuatan dan penyempurnaan dari penelitian ini. Selain itu penulis juga berterima kasih kepada dosen dan teman-teman Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jurusan Teknik Elektro Industri yang telah mendukung sepenuhnya agar penelitian ini dapat terwujud.



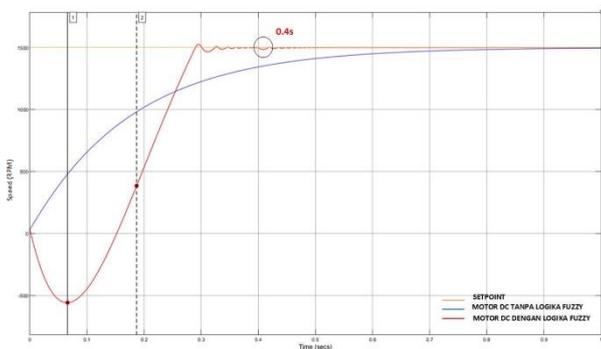
Gambar. 7. Permodelan pada MATLAB



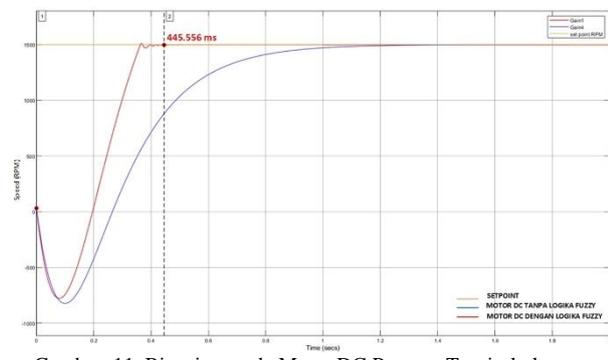
Gambar. 8. Hasil simulasi dengan setpoint RPM 1500



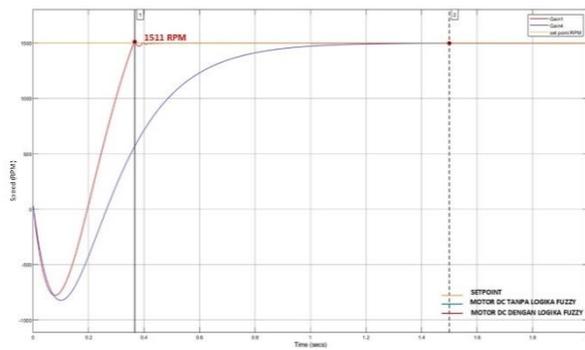
Gambar. 10. Rise time pada Motor DC Penguat Terpisah tanpa adanya logika fuzzy



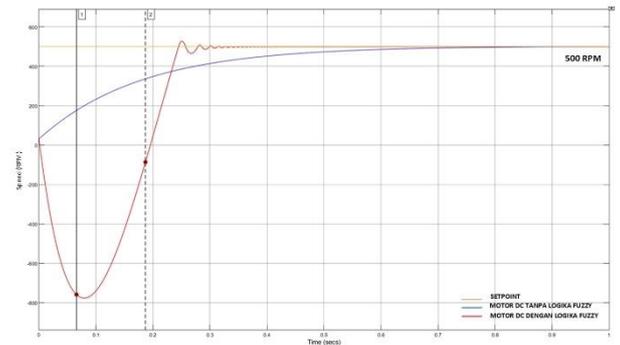
Gambar. 9. Respon logika fuzzy ketika diberi gangguan



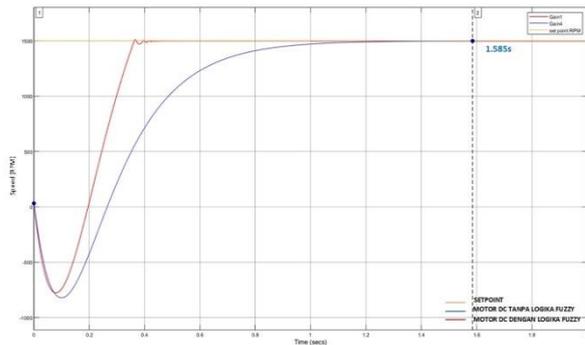
Gambar. 11. Rise time pada Motor DC Penguat Terpisah dengan adanya logika fuzzy



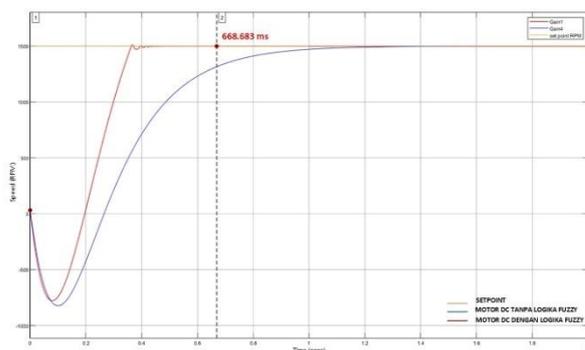
Gambar. 12. Kondisi overshoot pada Motor DC Penguat Terpisah menggunakan kontrol logika fuzzy



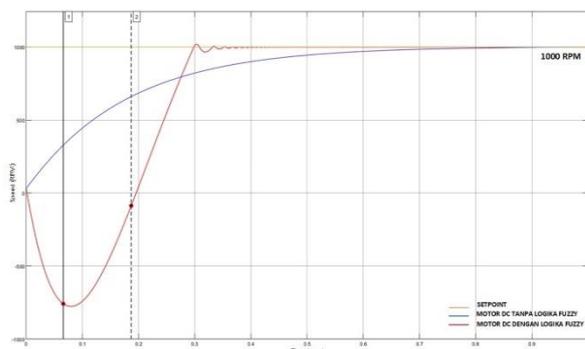
Gambar. 16. Setpoint 500 RPM



Gambar. 13. Kondisi steady state pada Motor DC Penguat Terpisah tanpa logika fuzzy.



Gambar. 14. Kondisi steady state pada Motor DC Penguat Terpisah menggunakan logika fuzzy



Gambar. 15. Setpoint 1000 RPM

REFERENCES

- [1] S. Kr. Gupta and P. Varshney, "Fractional Fuzzy PID Controller for Speed Control of DC Motor," in 2013 Third International Conference on Advances in Computing and Communications, Cochin, India, Aug. 2013, pp. 1–4, doi: 10.1109/ICACC.2013.7.
- [2] V. Tipsuwanporn, A. Numsomran, N. Klinsmith, and S. Gulphanich, "Separately excited DC motor drive with fuzzy self-organizing," in 2007 International Conference on Control, Automation and Systems, Seoul, South Korea, 2007, pp. 1316–1321, doi: 10.1109/ICCAS.2007.4406541.
- [3] M. Asbi, S. Subiyanto, and Y. Primadiyono, "Simulasi Kendali Motor DC Penguat Terpisah Menggunakan Kendali Fuzzy-FOPID," *Jetri J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 17, no. 1, p. 99, Aug. 2019, doi: 10.25105/jetri.v17i1.4109.
- [4] R. Sinha, P. R. Kasari, A. Chakrabarti, B. Das, and A. Das, "Speed Regulation of DC Motor by Buck Converter," in 2018 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), Chennai, India, Dec. 2018, pp. 1–6, doi: 10.1109/PEDES.2018.8707915.
- [5] "(Edisi 5) Electric Machinery Fundamentals by Stephen J. Chapman.pdf."
- [6] S. A. Lindiya, K. Vijayarekha, and S. Palani, "Fuzzy based controllers for single inductor multiple output buck converter," in 2016 International Conference on Emerging Trends in Engineering, Technology and Science (ICETETS), Pudukkottai, India, Feb. 2016, pp. 1–7, doi: 10.1109/ICETETS.2016.7603095.
- [7] B. K. Sabbarapu, O. Nezamuddin, A. McGinnis, and E. dos Santos, "Single-input multiple-output synchronous DC-DC buck converter," in 2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Milwaukee, WI, USA, Sep. 2016, pp. 1–8, doi: 10.1109/ECCE.2016.7855438.
- [8] H. M. Himawan, O. Setyawati, and H. Suyono, "Pemodelan Fuzzy Logic Control untuk Pengendali PWM pada Buck Converter," *J. Nas. Tek. Elektro Dan Teknol. Inf. JNTETI*, vol. 5, no. 1, Feb. 2016, doi: 10.22146/jnteti.v5i1.181.
- [9] S. Jayaprakash and V. Ramakrishnan, "Analysis of solar based closed loop DC-DC converter using PID and fuzzy logic control for separately excited motor drive," in 2014 IEEE National Conference on Emerging Trends In New & Renewable Energy Sources And Energy Management (NCET NRES EM), Chennai, India, Dec. 2014, pp. 118–122, doi: 10.1109/NCETNRESEM.2014.7088751.
- [10] T. J. Ross, *Fuzzy logic with engineering applications*, 3rd ed. Chichester, U.K: John Wiley, 2010.
- [11] M. A. Rachmadi and M. A. Muslim, "Sistem Kontrol Kecepatan Sepeda Listrik Menggunakan Metode Self-Tuning Parameter PI dengan Metode Logika Fuzzy," vol. 10, no. 1, p. 7, 2016.
- [12] K. Bendaoud et al., "Fuzzy logic controller (FLC): Application to control DC-DC buck converter," in 2017 International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS), Monastir, May 2017, pp. 1–5, doi: 10.1109/ICEMIS.2017.8272980.
- [13] S. I. Putri and H. Suyono, "Rancang Bangun dan Optimasi Panel Surya Berpenjejak dengan Logika Fuzzy Takagi- Sugeno," vol. 8, no. 1, p. 8, 2014.
- [14] L. Reznik, *Fuzzy controllers*. Oxford ; Boston: Newnes, 1997.