

Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* pada Generator DC Penguatan Terpisah Berbasis Arduino UNO R3

(Fuzzy Logic Control System on The Separately Excited DC Generator Based Arduino UNO R3)

Hendro Rosyidi Setiyawan¹, Widyono Hadi², Triwahju Hardianto³
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember (UNEJ)
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121

E-mail: setiyawanhendro99@gmail.com¹, yono_shinta@yahoo.com², triwahju@gmail.com³

Abstrak

Generator DC merupakan perangkat listrik dinamis yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, namun generator DC memiliki karakteristik saat diberi beban maka *output* akan mengalami *drop* tegangan. Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan kontrol *fuzzy logic* sehingga diperoleh kestabilan *output* tegangan generator DC. Besarnya injeksi yang diberikan pada generator DC diatur melalui *buck converter* yang dikontrol dari mikrokontroler. Tahapan pembuatan program *fuzzy logic* yang dilakukan antara lain *fuzzyfication*, *inference* dan *defuzzyfication*. Pembuatan pemodelan sistem *fuzzy* mengubah hasil dari pemodelan sistem *fuzzy* yang dirancang menjadi program agar dapat di *input* ke arduino UNO R3. Analisa perbandingan yang dilakukan yaitu analisa *drop* tegangan dan *over voltage* pada keadaan *close loop* maupun *open loop fuzzy logic*. Selisih dari *drop* tegangan dan *over voltage* yang terjadi untuk sistem *open loop* jauh lebih besar jika dibandingkan dengan *drop* tegangan dan *over voltage* dengan sistem *close loop fuzzy logic*.

Kata Kunci: Arduino UNO-R3, Buck Converter, Fuzzy Logic, Generator DC.

Abstract

DC generator is an dynamic electrical machine which convert mechanical energy into electrical energy, DC generator's output will coming through voltage drop if be given load. This study aimed to apply fuzzy logic control for stability of DC generator's output. The amount of injection given to a DC generator's arranged through controlled buck converter of microcontroller. Steps of programing fuzzy logic were fuzzyfication, inference and defuzzyfication. Fuzzy system would converted the result of fuzzy system plan into program that included to arduino UNO R3. Comparison analyze that has been applied in this study is voltage drop and over voltage's analyze in close loop and open loop fuzzy logic. Difference voltage drop and over voltage between open loop and close loop fuzzy logic were significant.

Keywords: Arduino UNO-R3, Buck Converter, DC Generator, Fuzzy Logic.

PENDAHULUAN

Energi listrik telah menjadi kebutuhan penting untuk menunjang aktifitas manusia. Saat ini banyak berkembang sistem kontrol untuk mengatur proses dan juga hasil dari energi listrik guna menjadikan sumber energi listrik yang handal. Efisiensi pengontrolan perangkat listrik juga berpengaruh dalam kehandalan *output* yang dihasilkan.

Generator DC merupakan sebuah perangkat listrik dinamis yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik [1]. Karakteristik generator DC saat diberi beban maka *output* pada generator akan mengalami *drop* tegangan. Prinsip ini menjadi dasar untuk mengontrol arus eksitasi sehingga dapat mengatur tegangan keluaran. Sistem kontrol yang dilakukan untuk mengatur besarnya arus eksitasi ini dengan menggunakan metode *fuzzy logic* yang fleksibel sehingga dimungkinkan untuk mengatur tegangan keluaran melalui arus eksitasi. Saat tegangan keluaran turun. atau terjadi *drop* tegangan, maka besarnya arus eksitasi yang dikontrol akan dinaikkan secara otomatis oleh sistem, begitu juga sebaliknya saat tegangan keluaran naik maka arus eksitasi yang dikontrol akan diturunkan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Besarnya eksitasi

yang diinjeksikan ke generator DC diatur dari *buck converter*. Arduino UNO R3 digunakan sebagai *embedded system* yang mengatur dan mengontrol hasil dari pemberian logika-logika yang telah ditetapkan dimasing-masing kondisi. Penerapan metode *fuzzy logic* diharapkan dapat mengatasi *drop* tegangan dan juga *overshoot* pada tegangan keluaran generator saat diberi variasi beban.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sistem kontrol *fuzzy logic* untuk tegangan keluaran pada generator DC penguatan terpisah berbasis arduino uno R3 dan menerapkan kontrol *fuzzy logic* sehingga diperoleh kestabilan *output* tegangan generator DC terhadap variasi beban yang diberikan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Listrik Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember pada bulan Desember 2015 hingga Maret 2016.

Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem untuk penelitian ini secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 1. Generator yang digunakan adalah generator DC penguatan terpisah dengan

prime mover yang digunakan untuk memutar generator dengan kecepatan sebesar 4500 rpm. Untuk membangkitkan tegangan keluaran dari generator tersebut maka diberikan besarnya arus eksitasi yang diatur dari sebuah buck converter berdasarkan duty cycle. Duty cycle diatur oleh sebuah kontrol yang berupa arduino uno R3 melalui besarnya nilai PWM. Dalam arduino terdapat kontrol berupa fuzzy logic yang akan merespon ketika generator tersebut dibebani dengan variasi beban dari lampu pijar. Pengujian beban menggunakan lampu pijar dengan variasi 15, 25, 40, 50 dan 65 Watt. Kontrol fuzzy logic ini juga yang akan mengatasi drop tegangan sehingga mempertahankan output tegangan tetap berada pada set poin. Sensor tegangan yang dipasang bertujuan untuk mengetahui tegangan keluaran dari generator dan juga sebagai input dari arduino uno R3 yang berupa pembacaan ADC.

Perancangan Komponen Pengendali (Hardware)

Komponen pengendali yang digunakan dirancang dan tersusun secara rapi dalam satu papan atau board pcb. Untuk lebih jelasnya komponen pengendali yang dirancang dapat dilihat pada gambar 2.

1) Perancangan Sensor Tegangan

Sensor tegangan dibangun dari rangkaian pembagi tegangan. Perancangan sensor tegangan dilakukan dengan menyusun resistor secara seri. Rangkaian pembagi tegangan ini menggunakan resistor 300 kΩ dan resistor 4k7 Ω. Pada penelitian ini penggunaan resistor sebesar 300 kΩ digantikan dengan menggunakan tiga buah resistor sebesar 100 kΩ secara seri karena untuk resistor 300 kΩ sukar dicari dipasaran. Skema rangkaian sensor tegangan dapat dilihat pada gambar 3.

Perhitungan perancangan sensor tegangan dapat dilihat pada persamaan (1).

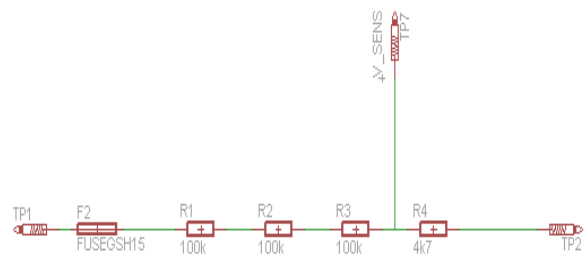
$$V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} \tag{1}$$

Pengujian pada pengujian sesnsor tegangan ini dapat dilihat pada gambar 4. Pada pengujian ini digunakan DC power supply sebagai sumber tegangan pada sisi input dari sensor tegangan dan sebuah digital multimeter untuk melakukan pengukuran tegangan dan nantinya dibandingkan dengan pembacaan display tegangan yang ada pada DC power supply.

2) Perancangan Buck Converter

Converter jenis buck merupakan converter penurun tegangan yang mengkonversikan tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah [2].

Buck converter yang dirancang pada penelitian kali ini yaitu menggunakan IGBT SSH40N50 yang mampu menahan tegangan antara collector dan emitter hingga 220 V, sedangkan optocoupler digunakan untuk memisah tegangan yang lebih tinggi dari tegangan yang digunakan pada komponen arduino uno R3 agar ketika terjadi kesalahan pada tegangan yang lebih tinggi, arduino uno R3 akan tetap aman dan juga berfungsi sebagai switching device untuk IGBT. Nilai C1 dan C2 adalah 470 μF dan nilai induktor yang digunakan adalah 22.0 mH dengan hambatan beban pada medan generator DC yang digunakan adalah 914 Ω. Skematik rangkaian buck converter dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 3. Skematik Sensor Tegangan

Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Gambar 4. Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan

Agar buck converter bekerja secara kontinu diperlukan perhitungan nilai frekuensi mengacu pada persamaan (2).

$$f > \frac{(1 - D)R}{2L} \tag{2}$$

3) Generator DC Penguatan Terpisah

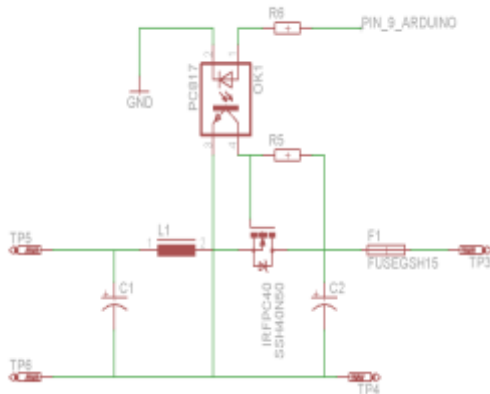
Generator DC yang digunakan seperti terlihat pada gambar 6 adalah generator DC penguatan terpisah tipe

Gambar 2. Board Komponen Pengendali

feedback dengan nomer seri 63-120 yang memiliki tegangan kerja yaitu sebesar 220 Volt dengan daya yang mampu dihasilkan yaitu sebesar 250 Watt. Kumparan medan pada stator yang terdapat pada generator DC ini terdiri dari dua jenis kumparan, yaitu kumparan pendek dan kumparan panjang. Rangkaian yang dapat digunakan pada generator DC ini yaitu dirangkai secara seri, *shunt* dan *compuond*.

4) Arduino UNO R3

Arduino yang digunakan yaitu dengan tipe arduino uno R3 dapat dilihat pada gambar 7, dimana *embedded system* ini yang menerima *feedback* tegangan dari tegangan keluaran generator. Pada tahap ini, pengujian *embedded system* dilakukan dengan mencoba menghubungkan pada pin arduino yang diinginkan.



Gambar 5. Skematik Rangkaian *Buck Converter*



Gambar 6. Generator DC
(Sumber : feedback mechine datasheet)



Gambar 7. Bentuk secara fisik Arduino UNO R3
(Sumber : www.arduino.com)

Perancangan Sistem Kendali Fuzzy

Perancangan kontrol *fuzzy* pada sistem eksitasi pada generator DC penguatan terpisah ini dirancang dengan perhitungan secara sistematis. Dimana logika *fuzzy* ini akan diimplementasikan secara langsung kedalam sebuah *embedded system* yang berupa arduino uno R3. Tahap

pembuatan *fuzzy logic control* ini dilakukan melalui beberapa tahap yaitu tahap fuzifikasi, inferensi dan defuzifikasi. Tahapan dapat dilihat pada gambar 8.

1) Tahap Fuzifikasi

Tahap awal pembuatan *fuzzy* diawali dengan proses fuzifikasi dimana pada tahap ini dilakukan membuat daerah batas *crisp* serta pemberian label pada *input* yaitu *error* dan *delta error*, kemudian dengan membuat himpunan keanggotaan untuk *error* dan *delta error*, dan selanjutnya melakukan perhitungan untuk menentukan derajat keanggotaan masing-masing nilai *error* dan *delta error*. Sedangkan untuk membuat *membership function output* langkah yang dilakukan hampir sama saat pembuatan daerah batasan *crisp* pada *input*. *Membership function* yang dibuat dapat dilihat pada gambar 9, gambar 10 dan gambar 11.

Gambar 8. Blok Sistem Kendali *Fuzzy*

Gambar 9. *Membership function error*

Gambar 10. *Membership function delta error*

Gambar 11. *Membership function control*

2) Tahap Inferensi

Inferensi dimulai dengan memetakan nilai derajat keanggotaan dari masing-masing *error* dan *delta error* ke sebuah tabel yang berisi basis aturan yang dipilih (*rule base*) dan menggunakan sebuah metode untuk pemilihan

nilai dari derjat keanggotaan. Dengan demikian terlebih dahulu harus dibuat matrik atau tabel *rule base*. Untuk tabel *rule base* dapat dilihat pada gambar 12.

3) Tahap Defuzzyfikasi

Defusifikasi dilakukan dengan memetakan nilai-nilai *U* ke himpunan defuzifikasi yang dinyatakan dengan persamaan-persamaan garis. Berbeda dengan fuzifikasi, defuzifikasi akan menghasilkan luasan-luasan yang dibatasi dengan tinggi masing-masing nilai *U* dan garis yang dihasilkan dari pemetaan ke *rule base*

Untuk persamaan yang digunakan dalam penentuan nilai *output control* seperti pada persamaan (3).

$$Z = \frac{WANK1 \times U1 + WANK2 \times U2 + WAPK3 \times U3 + WANK4 \times U4 + WAZK \times U5 + WAPK6 \times U6 + WANK7 \times U7 + WAPK8 \times U8 + WAPK9 \times U9}{U1 + U2 + U3 + U4 + U5 + U6 + U7 + U8 + U9} \quad (3)$$

Besarnya nilai PWM yang diberikan pada *buck converter* yaitu besarnya nilai PWM ditambah dengan nilai *output control* yang dihasilkan.

D. Aplikasi Monitoring Generator

Aplikasi yang digunakan pada proses monitoring yaitu *software* Microsoft Visual C# 2010 Express yang terhubung secara serial dengan arduino uno R3 sehingga kontrol *setpoint* dapat diatur secara langsung dari aplikasi ini. Pada aplikasi ini terdapat fungsi longger untuk mengolah data tegangan, *output* tegangan akan terlihat secara langsung dalam bentuk grafik.

| | | | | |
|-----|----|----|----|----|
| | E | | | |
| DE | | PE | ZE | NE |
| DEN | u1 | NK | u2 | u3 |
| | | NK | NK | PK |
| DEZ | u4 | NK | u5 | u6 |
| | | NK | ZK | PK |
| DEP | u7 | NK | u7 | u9 |
| | | NK | PK | PK |

Gambar 12. Tabel *Rule Base*



Gambar 13. Aplikasi Monitoring Generator

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sensor Tegangan

Hasil pengujian sensor tegangan digunakan untuk akurasi pembacaan pada sensor tegangan yang

dibandingkan dengan pembacaan pada digital multimeter. Hasil pengujian sensor tegangan terangkum pada Tabel 1 dan perbandingan pengujian sensor tegangan dapat dilihat pada gambar 14. Hasil pengujian didapatkan rata-rata nilai error yang relatif kecil, maka untuk penggunaan sensor tegangan pada penelitian ini cukup baik sebagai *feedback* yang nantinya akan diolah oleh kontrol *fuzzy logic*.

Pengujian Buck Converter

Sebuah teknik kontrol yang sesuai untuk konverter dc-dc harus dapat memastikan stabilitas dalam kondisi operasi apapun sambil memberikan respon yang cepat [3]. Pada pengujian *buck converter* dilakukan pengujian pada segi efisiensi dan perbandingan *duty cycle* serta tegangan keluaran. Nilai *duty cycle* besarnya tegangan keluaran berbanding lurus, hal ini dapat dilihat karakteristik dari *duty cycle* dan *output* tegangan pada gambar 15. Hasil uji menunjukkan bahwa *buck converter* ini dapat digunakan untuk sistem kontrol *fuzzy logic* karena perbandingan antara *duty cycle* dan *output* tegangan mendekati linier.

Pengujian Generator Penguatan Terpisah Tanpa Kontrol

Pengujian pada generator DC penguatan terpisah ini dilakukan dengan pengambilan data generator DC diberi beban dan kemudian lepas beban. Grafik data pemberian beban dengan sistem *open loop* disajikan pada gambar 17

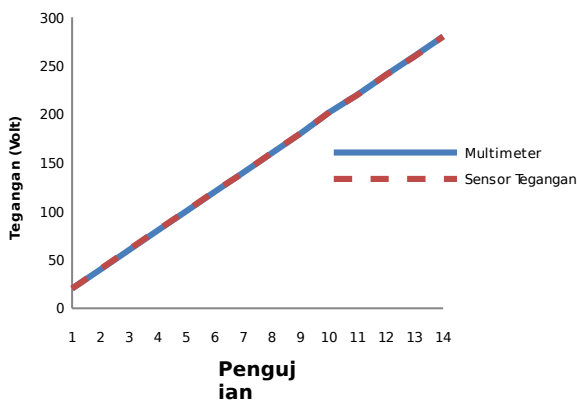
Tabel 1. Pengujian Sensor Tegangan

| Digital Multimeter (Volt) | Sensor Tegangan (Volt) | Error % |
|---------------------------|------------------------|---------|
| 20,14 | 20,32 | 0,89 |
| 40,10 | 40,47 | 0,92 |
| 60,23 | 60,77 | 0,90 |
| 80,16 | 80,63 | 0,59 |
| 100,00 | 100,31 | 0,31 |
| 120,23 | 120,73 | 0,42 |
| 140,03 | 139,67 | 0,26 |
| 160,02 | 160,50 | 0,30 |
| 180,04 | 180,23 | 0,11 |
| 201,72 | 201,94 | 0,11 |
| 220,34 | 220,09 | 0,11 |
| 240,67 | 240,56 | 0,05 |
| 260,13 | 259,67 | 0,18 |
| 280,23 | 280,11 | 0,04 |
| | Rata-rata | 0,37 |

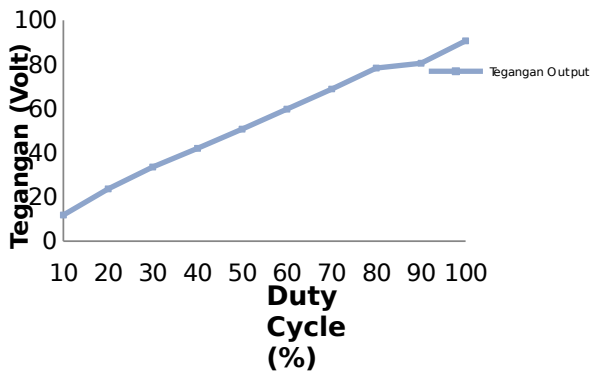
Pengujian selanjutnya adalah pengujian pengambilan data saat terjadi pelepasan beban pada generator DC penguatan terpisah dengan sistem *open loop*. Grafik hasil uji tersaji pada Gambar 18. Pengujian pelepasan beban, *over voltage* tertinggi terjadi pada saat pelepasan beban lampu pijar sebesar 65 Watt yaitu sebesar 238,69 Volt dan terendah pada 15 Watt dengan *output* tegangan generator yaitu 223,76 Volt .

Pengujian Generator DC Penguatan Terpisah Menggunakan Kontrol Fuzzy Logic

Pengujian dengan beban pada generator DC penguatan terpisah ini dilakukan secara bertahap. Pengujian ini akan didapatkan respon dari kontrol *fuzzy logic*. Hasil pengujian pemberian beban terhadap *output* tegangan pada generator DC penguatan terpisah dengan kontrol fuzzy disajikan dalam bentuk grafik perbandingan respon kontrol dari masing-masing pengujian dengan variasi beban yang diberikan gambar 19. Grafik tersebut membandingkan besarnya nilai *drop* tegangan yang terjadi dan juga respon dari kontrol untuk mengembalikan kestabilan *output* tegangan dari generator DC penguatan terpisah. Hasil uji menunjukkan bahwa dari keseluruhan pengujian pemberian beban, kontrol *fuzzy logic* dapat mengurangi *drop* tegangan yang terjadi pada generator DC saat diberi beban.



Gambar 14. Pengujian Sensor Tegangan dengan Multimeter

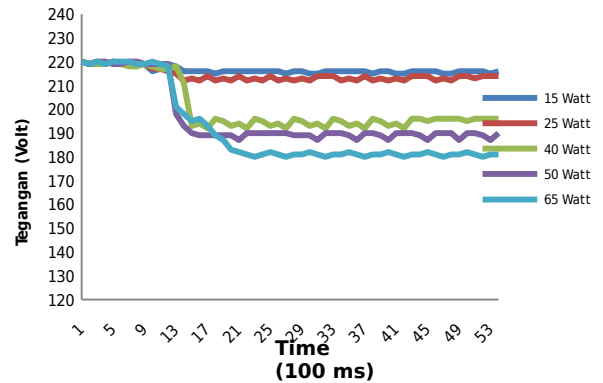


Gambar 15. Karakteristik Duty Cycle terhadap Output Tegangan

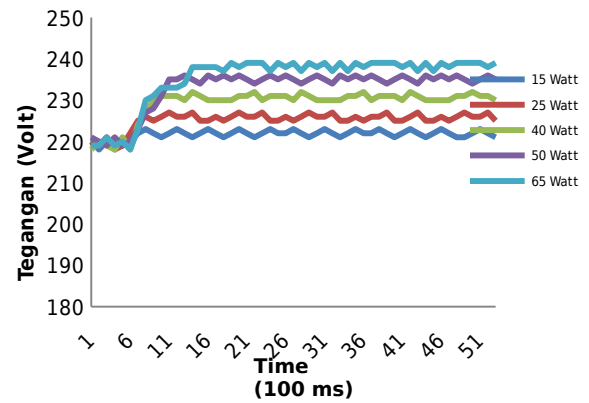
Pengujian selanjutnya adalah pengujian pelepasan beban menggunakan kontrol *fuzzy logic* yang dilakukan untuk mengetahui respon dari kontrol ketika pelepasan beban. Grafik hasil perbandingan respon kontrol dari masing-masing pengujian serta kestabilan *output* tegangan dapat dilihat pada gambar 19.

Hasil keseluruhan pengujian pelepasan beban yang dilakukan diketahui bahwa *over voltage* tertinggi terjadi pada pelepasan beban sebesar 65 Watt. Pemakaian kontrol *fuzzy logic* dalam pengaturan *output* tegangan pada generator DC penguatan terpisah mampu mengatasi *over*

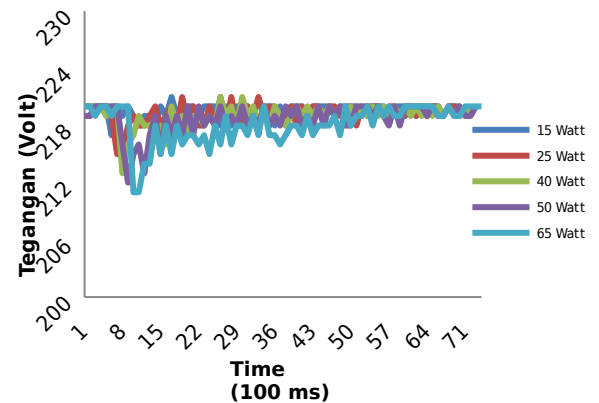
voltage dari generator DC ketika terjadi pelepasan beban. Selisih *over voltage* yang terjadi antara *open loop* dan dengan kontrol cukup jauh.



Gambar 16. Grafik Perbandingan Pemberian Beban Sistem Open Loop



Gambar 17. Grafik Perbandingan Pelepasan Beban Sistem Open Loop

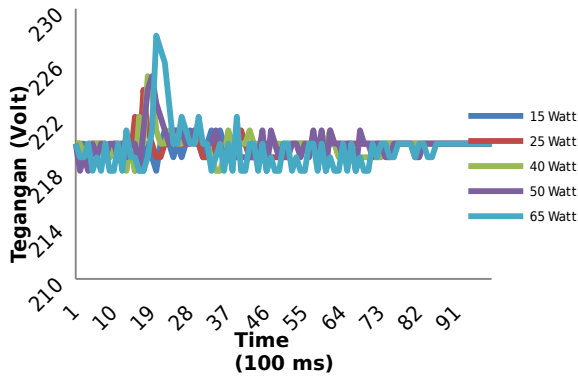


Gambar 18. Perbandingan Respon Kontrol Tiap Pengujian Perbandingan Sistem Open Loop dan Close Loop Fuzzy Logic

Analisa perbandingan yang dilakukan yaitu pada analisa *drop* tegangan dan juga pada *over voltage* pada setiap pengujian baik pada keadaan *close loop* maupun *open loop*. Besar *drop* tegangan yang terjadi tidak lebih dari 10 Volt. Selisih dari *drop* tegangan yang terjadi untuk sistem *open loop* jauh lebih besar jika dibandingkan dengan *drop*

tegangan dengan sistem *close loop*. Perbandingan *drop* tegangan sistem *open loop* dan *close loop* dapat dilihat pada Tabel 2.

Perbandingan untuk *over voltage* pada pengujian yang dilakukan juga memiliki perbedaan dari setiap pengujian pelepasan beban yang dilakukan. Pada sistem *close loop*, *over voltage* dari keseluruhan pengujian tidak lebih dari 10 Volt. Perbandingan menunjukkan bahwa terdapat keuntungan dari penggunaan kontrol *fuzzy logic* dalam mengatasi *over voltage* ketika terjadi pelepasan beban. Perbandingan dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 19. Perbandingan Respon Kontrol Tiap Pengujian

Tabel 2. Perbandingan *Drop* Tegangan Sistem *Open Loop* dan *Close Loop*

| Beban (Volt) | <i>Drop</i> Tegangan Sistem <i>Open Loop</i> (Volt) | <i>Drop</i> Tegangan Sistem <i>Close Loop</i> (Volt) |
|--------------|---|--|
| 15 | 4,24 | 3 |
| 25 | 13,02 | 5 |
| 40 | 26,44 | 7 |
| 50 | 30,11 | 8 |
| 65 | 38,87 | 9 |

Tabel 3. Perbandingan *Over Voltage* Sistem *Open Loop* dan *Close Loop*

| Beban (Volt) | <i>Over Voltage</i> Sistem <i>Open Loop</i> (Volt) | <i>Over Voltage</i> Sistem <i>Close Loop</i> (Volt) |
|--------------|--|---|
| 15 | 3,76 | 2 |
| 25 | 6,34 | 4 |
| 40 | 11,56 | 5 |
| 50 | 15,78 | 5 |
| 65 | 18,69 | 8 |

KESIMPULAN

Kesimpulan dari pengujian dan analisa data yang telah dilakukan adalah :

1. Pada perancangan sistem kontrol *fuzzy logic* untuk kontrol tegangan keluaran pada generator DC penguatan terpisah untuk pengujian sensor tegangan diperoleh persentase *error* pembacaan sensor yaitu 0,37 %. Sedangkan pada pengujian efisiensi tertinggi pada *buck*

converter didapatkan sebesar 87 % ketika *duty cycle* sebesar 100 %.

2. Kestabilan tegangan keluaran generator DC ketika menggunakan kontrol *fuzzy logic* saat pengujian pemberian beban tertinggi didapatkan *under voltage* sebesar 211 Volt dengan *recovery-time* sebesar 2,6 s. Sedangkan ketika pengujian pelepasan beban tertinggi didapatkan *over voltage* tertinggi sebesar 228 Volt dengan *recovery-time* sebesar 1,4 s. Dimana untuk pengujian beban tertinggi yaitu sebesar 65 Watt.

SARAN

Setelah melakukan penelitian ini, ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian yang selanjutnya. Beberapa saran tersebut antara lain sebagai berikut.

1. Dalam pembuatan *membership function* untuk kontrol *fuzzy logic* dapat dibuat kembali dengan pola yang lain sehingga didapatkan respon kontrol lain yang lebih baik.
2. Generator DC penguatan terpisah yang digunakan dapat diganti dengan jenis penguatan lainnya seperti *shunt*, *series* atau *compound*.
3. Penggunaan kontrol dapat diganti dengan *hybrid* PID Fuzzy sehingga dapat diperoleh respon kontrol yang lebih baik.
4. *Boost converter* atau *buck-boost converter* dapat digunakan untuk menggantikan *buck converter*.
5. *Prime over* yang digunakan dapat diganti dengan motor bakar atau yang lain dengan kecepatan yang konstan atau stabil.
6. *Embedded system* yang dipakai dapat diganti dengan *embedded system* yang terbaru.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chapman S. J. *Electric Machinery Fundamentals*. New York: Library of Congress Cataloging, 2005.
- [2] Himawan, H. M., Setyawati, O., & Suyono, H. 2016,. *Pemodelan Fuzzy Logic Control untuk Pengendali PWM pada Buck Converter*. *JNTETI, Vol. 5, No. 1*.
- [3] Guldemir, H. 2011. *Study of Sliding Mode Control of DC-DC Buck Converter*. *Scientific Research*.