

# **STABILISASI TEGANGAN KELUARAN BUCK CONVERTER DENGAN METODE FUZZY LOGIC CONTROLLER**

---

**Oktriza Melfazen**

Universitas Islam Malang

[oktriza.melfazen@unisma.ac.id](mailto:oktriza.melfazen@unisma.ac.id)

## **Abstrak**

*Buck converter* idealnya mempunyai keluaran yang stabil, pemanfaatan daya rendah, mudah untuk diatur, antarmuka yang mudah dengan piranti yang lain, ketahanan yang lebih tinggi terhadap perubahan kondisi alam. Beberapa teknik dikembangkan untuk memenuhi parameter *buck converter*. Solusi paling logis untuk digunakan pada sistem ini adalah metode kontrol digital.

Penelitian ini menelaah uji performansi terhadap stabilitas tegangan keluaran *buck converter* yang dikontrol dengan Logika Fuzzy metode Mamdani. Rangkaian sistem terdiri dari sumber tegangan DC variable, sensor tegangan dan *Buck Converter* dengan beban resistif sebagai masukan, mikrokontroler ATMega 8535 sebagai subsistem kontrol dengan metode logika fuzzy dan LCD sebagai penampil keluaran.

Dengan fungsi keanggotaan error, delta error dan keanggotaan keluaran masing-masing sebanyak 5 bagian serta metode defuzzifikasi *center of gravity* (COG), didapat hasil rerata error 0,29% pada variable masukan 18V–20V dan setpoint keluaran 15V, *rise time* ( $t_r$ ) = 0,14s ; *settling time* ( $t_s$ ) = 3,4s ; *maximum over shoot* (%OS) = 2,6 dan *error steady state* (ess) = 0,3.

**Kata-kata kunci:** Buck Converter, Fuzzy Logic, ATMega 8535

## **Abstract**

*The ideal buck converter has a stable output, low power utilization, easy to set up, easy interface with other devices, higher resistance to changes in natural conditions. Several techniques were developed to meet buck converter parameters. The digital control method is the most logical solution to use on a buck converter system.*

*This study examines the performance test of buck converter output voltage stability which is controlled by Fuzzy Logic. The system circuit consists of a DC variable voltage source, a voltage sensor and a Buck Converter with resistive load as input, ATMega 8535 microcontroller as a control subsystem with fuzzy logic method and LCD as the output viewer. With membership error function, delta error and output membership are 5 pieces and center of gravity (COG) defuzzification method and the average error is 0.29% with input variables 18V - 20V and setpoint output of 15V, rise time ( $t_r$ ) = 0.14s; settling time ( $t_s$ ) = 3.4s; maximum overshoot (% OS) = 2.6 and steady state (ess) error = 0.3.*

**Keywords:** Buck Converter, Fuzzy Logic, ATMega 8535

## 1. PENDAHULUAN

Tegangan searah atau *Direct Current* (DC) diperlukan sebagai sumber daya listrik motor DC untuk banyak aplikasi di bidang elektro. Tegangan DC ini didapat dari tegangan bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) yang disearahkan dengan komponen semikonduktor. Tegangan DC tidak hanya harus tersaring dengan bersih tetapi juga teregulasi dengan baik. Jika sumber DC ini dibebani maka tegangan outputnya akan berubah. Perubahan tersebut disebabkan oleh perubahan tegangan sumber akibat jatuh tegangan yang dapat mengurangi unjuk kerja dari peralatan yang dipasang. Untuk itu diperlukan suatu pengendalian tegangan DC agar peralatan yang dipasang bekerja optimal.

Dalam sistem perubahan daya DC atau konverter DC-DC tipe *switching*, tidak ada daya yang diserap pada transistor sebagai *switch* karena saat *switch* ditutup tidak ada tegangan jatuh pada transistor, sedangkan saat *switch* dibuka, tidak ada arus listrik mengalir. Semua daya terserap pada beban sehingga efisiensi daya menjadi 100%. Namun pada prakteknya, tidak ada *switch* yang ideal. Untuk memenuhi kebutuhan terhadap tegangan keluaran yang stabil perlu dibuat suatu sistem yang menjaga kestabilan tegangan output berupa pengontrolan terhadap kinerja konverter DC-DC tersebut.

Penelitian terdahulu tentang Buck Converter menitikberatkan pada masalah rancang bangun untuk menghasilkan energi oleh Agung Maulana (2016), konverter Buck-Boost untuk pembangkit

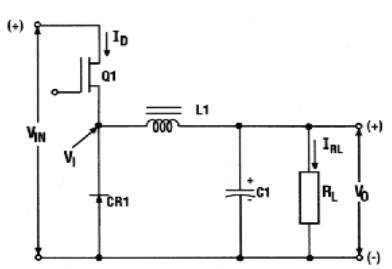
listrik tenaga ombak dengan fungsi kontrol untuk proses *charging*, normal dan *stop charging*<sup>[1]</sup>. Achmad Komarudin (2014) mendesain dan analisis proporsional kontrol buck-boost converter pada sistem photovoltaic, tanpa metode pengontrolan menghasilkan respon sebesar 0.5s dan terdapat *overshoot* pada keluaran rangkaian buckboost<sup>[2]</sup>.

Kontrol logika fuzzy merupakan salah satu metode pengontrolan yang dapat digunakan untuk menghasilkan output yang stabil. Penelitian ini menggunakan kontrol logika fuzzy untuk mengontrol kestabilan tegangan pada topologi *buck-converter* karena konsep yang mudah dimengerti, perhitungan matematis sederhana dan memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat. Menggunakan ATmega 8535 sebagai kontroler dan pada kontrol logika fuzzy fungsi keanggotaan digunakan masing-masing sejumlah lima error dan delta error.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Buck Konverter

Pada DC-DC konverter metoda *buck*, tegangan keluaran akan lebih rendah atau sama dengan tegangan masukan. Konfigurasi *buck* memiliki efisiensi yang tinggi, rangkaiannya sederhana, tidak memerlukan transformer, tingkatan stress pada komponen switch yang rendah, *ripple* pada tegangan keluaran juga rendah sehingga penyaring atau filter yang dibutuhkan pun relatif kecil. Kekurangan yang ditemukan antara lain tidak adanya isolasi antara masukan dan keluaran, hanya satu keluaran yang dihasilkan, dan tingkat ripple yang tinggi pada arus masukan. Metoda *buck* sering digunakan pada aplikasi yang membutuhkan sistem yang berukuran kecil<sup>[3]</sup>.



Gambar 1. Rangkaian Buck Konverter. [2]

## 2.2 Mikrokontroler Atmega 8535

Mikrokontroler merupakan *minimum system* yang dapat digunakan untuk pengontrolan otomatis dan manual pada perangkat elektronika. ATmega8535 merupakan salah satu mikrokontroler 8 bit dari Atmel untuk keluarga AVR yang memiliki beberapa kemampuan antara lain berbasis RISC dengan kecepatan maksimal 16 MHz, memori flash 8 KB, SRAM 512 byte dan EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) 512 byte, memiliki ADC internal dengan ketelitian 10 bit sebanyak 8 saluran, PWM internal sebanyak 4 saluran, portal komunikasi serial (USART) dengan kecepatan maksimal 2,5 Mbps., enam pilihan mode *sleep*, untuk menghemat penggunaan daya listrik<sup>[4]</sup>.

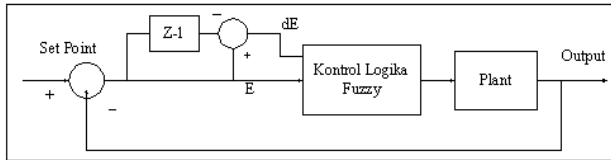
## 2.5 Kontrol Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* merupakan suatu logika yang lebih dekat dengan cara berpikir manusia, keanggotaan himpunannya mempunyai nilai-nilai bervariasi, menunjukkan nilai pengukuran secara kualitatif. Hal ini menjadi salah satu alasan penggunaan logika *fuzzy* dalam sistem kendali. Himpunan *fuzzy* adalah sebuah himpunan yang terdiri atas elemen-elemen yang mempunyai derajat atau tingkat keanggotaan yang bervariasi dalam himpunan itu. Elemen-elemen dalam himpunan *fuzzy* bisa menjadi anggota himpunan *fuzzy* yang lain dalam semesta pembicaraan yang sama<sup>[5]</sup>.

Untuk menyatakan tingkat keanggotaan dari tiap pendukung dalam himpunan *fuzzy*, digunakan fungsi keanggotaan

(*membership function*) yang mengkarakteristikan tiap pendukung dalam himpunan *fuzzy* sedemikian rupa sehingga tiap pendukung mempunyai nilai keanggotaan dalam *interval*  $[0,1]$ .

Perancangan pengendali logika *fuzzy* menggabungkan aspek pendefinisian himpunan *fuzzy* dan aspek logika *fuzzy* untuk memperoleh suatu sistem kontrol yang dapat beroperasi sebagai sistem pengaturan cerdas.



Gambar 2. Struktur Kontrol Logika *Fuzzy* Untuk Pengendalian Sistem. <sup>[6]</sup>

Pengendali logika *fuzzy* digunakan pada sistem kontrol loop tertutup. *Error* ( $E$ ) dan perubahan *error* ( $dE$ ) merupakan sinyal masukan bagi pengendali. Sedangkan sinyal  $U$ , merupakan keluaran pengendali sekaligus sebagai penggerak *plant*.

Basis pengetahuan (*knowledge base*) dalam pengendali logika *fuzzy* adalah bagian yang berisi basis data dan basis aturan, mendefinisikan fungsi keanggotaan himpunan-himpunan *fuzzy*, variabel masukan dan keluaran pengendali logika *fuzzy*. Basis aturan merupakan pernyataan linguistik sebagai kaidah aturan *fuzzy*. Fuzzifikasi adalah proses perubahan dari besaran bukan *fuzzy* (*crisp*) ke besaran *fuzzy* sehingga didapatkan derajat fungsi keanggotaan. Operasi fuzzifikasi melibatkan transformasi sebuah himpunan non-*fuzzy* ke dalam himpunan *fuzzy*. *Inference* adalah proses untuk mendapatkan aksi keluaran dari suatu kondisi masukan dengan mengikuti aturan-aturan (*rules*) yang telah ditetapkan. Salah satu metode yang sering dipergunakan untuk *inference fuzzy* adalah metode MAX-MIN.

Defuzzikasi merupakan proses pemetaan himpunan *fuzzy* menjadi harga keluaran *crisp* (*nonfuzzy*). Keluaran dalam bentuk *crisp* ini digunakan untuk aksi kendali. Metode defuzzifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *Center Of Gravity* (COG). Masing-masing fungsi keanggotaan keluaran *fuzzy*, diatas nilai yang ditunjukkan oleh keluaran *fuzzy*-nya dipotong. Fungsi

keanggotaan hasil pemotongan tersebut, kemudian dikombinasikan dan keseluruhan pusat grafitasinya dihitung<sup>[6]</sup>. Untuk fungsi keanggotaan keluaran *fuzzy singleton*, persamaan defuzzifikasi COG dinyatakan sebagai berikut :

$$z^* = \frac{\sum_i \mu_{ci}(z) \cdot z_i}{\sum_i \mu_{ci}(z)}$$

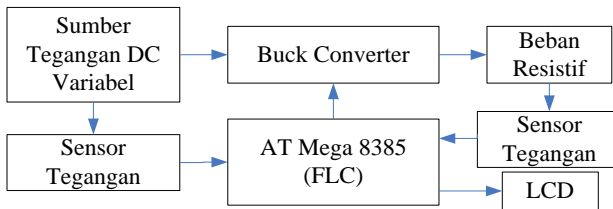
dengan  $z^*$  = *output crisp*

$\mu_{ci}(z)$  = *output fuzzy*

$z_i$  = posisi singleton pada sumbu z

### 3. METODE

Perencanaan terhadap sistem dan spesifikasi digambarkan dalam blok diagram seperti terlihat dalam gambar berikut:



Gambar 3. Gambar Blok Diagram Sistem

#### 3.1. Prinsip Kerja

Masukan dalam sistem ini adalah sumber tegangan variabel DC yang diperlukan untuk menyediakan sejumlah nilai tegangan DC untuk selanjutnya menjadi masukan untuk *Buck Converter*.

Rangkaian *Buck Converter* menerima masukan dari sumber tegangan variabel DC, digunakan sensor tegangan sebelum dan sesudah rangkaian buck converter untuk mendapatkan tegangannya. Nilai-nilai tegangan yang didapatkan menjadi masukan untuk mikrokontroller Atmega 8535 guna mengatur *duty cycle* dari *buck converter* dengan menggunakan kontrol logika fuzzy.

### 3.2. Sistem Hardware Elektronik

#### 3.2.1. Rangkaian Buck Converter

Perencanaan rangkaian buck converter sesuai dengan spesifikasi dibawah ini.

**Tabel 1. Tabel Spesifikasi Rangkaian Buck**

Tegangan Input	18 - 20 V
Tegangan Output	±15 V
Daya Output	± 30 W
% beban untuk arus continus	50 %
Asumsi efisiensi	80 %
Frekuensi switching	10 KHz
% Ripple tegangan output	2,45 %
Arus Output maksimal	2 A

Setelah menentukan spesifikasi buck, selanjutnya menentukan arus output terendah kontinu dengan rumus berikut :

$$I_{outmincont} = \frac{\text{arus output maksimal} \times \% \text{beban untuk arus continous}}{100}$$

$$= \frac{2 \times 50 \%}{100} = 1 \text{ A.}$$

$$Duty \ cycle = \frac{\text{tegangan output}}{\text{tegangan input}}$$

$$Duty \ cycle = \frac{15}{20} = 0,75 \text{ atau } 75 \ %.$$

Nilai induktor menggunakan rumus sebagai berikut :

$$L = \frac{(1 - Duty \ cycle) \times \text{Tegangan output}}{(2 \times \text{Frekuensi switching} \times 1000 \times \text{arus output terendah continus})}$$

$$L = \frac{(1 - 0,75) \times 15}{(2 \times 1000 \times 1000 \times 1)} = 0,000188 \text{ Henry.}$$

Adapun kapasitor yang dibutuhkan :

$$C = \frac{\text{Tegangan output} \times (1 - Duty \ cycle)}{(8 \times L \times \text{Frekuensi switching}^2 \times 10^6 \times \text{ripple tegangan output})}$$

Ripple tegangan output didapatkan sebagai berikut :

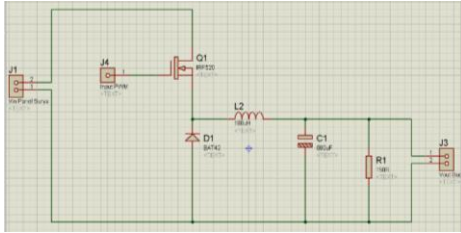
$$Ripple \ V \ out = \frac{\% \text{ ripple tegangan output} \times \text{tegangan output}}{100}$$

$$Ripple \ V \ out = \frac{2,45\% \times 15}{100} = 0,37 \text{ V.}$$

Sehingga didapatkan nilai kapasitor :

$$C = \frac{15 \times (1 - 0,75)}{(8 \times 0,000188 \times 10^8 \times 10^6 \times 0,37)} = 0,00068 \text{ F atau } 680 \mu\text{F.}$$

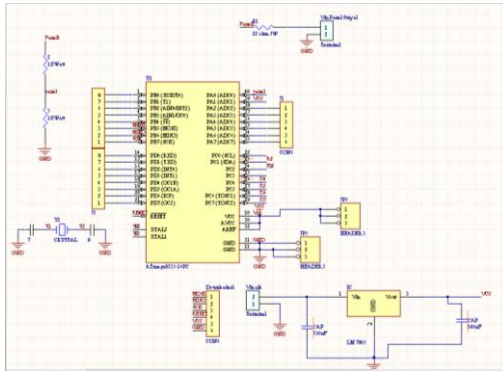
Maka rangkaian buck converter menjadi sebagai berikut :



Gambar 4. Skematik Rangkaian Buck Converter.

### 3.2.2 Minimum System

Rangkaian *minimum system* menggunakan Atmega 8535 sebagai pengolah data dengan skematik rangkaian sebagai berikut:



Gambar 5. Skematik Minimum System

Menggunakan PortA.0 sebagai ADC untuk membaca nilai tegangan dari sumber DC. PortC.1-C.7, disambungkan dengan LCD 16 x 2. AVCC adalah pin suplai tegangan untuk ADC, PA3..PA0, dan ADC7, ADC6. Menggunakan kristal xtal 12 Mhz yang dihubungkan paralel dengan kapasitor 33pF. Disambungkan dengan port XTAL 1 dan XTAL 2. Terminal Vin sebagai input *buck converter*, tegangan dari *buck converter* menjadi input ADC. Dengan metode pembagi tegangan, input dari tegangan sumber DC 20V, tegangan yang digunakan untuk ADC menjadi 5 volt. Menggunakan resistor 3K dan 1K untuk pembagi tegangan dengan perhitungan sebagai berikut :



$$V_{out} = \frac{R1}{R1+R2} \times V_{in}$$

$$V_{out} = \frac{1K}{3K+1k} \times 20 \text{ Volt} = 5 \text{ Volt}$$

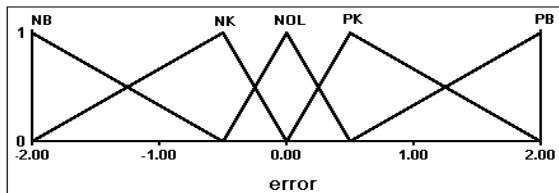
### 3.3. Perancangan Kontroler Logika Fuzzy

Keluaran kontroler logika fuzzy berupa nilai PWM yang digunakan untuk mengatur *buck converter*. Kontrol logika fuzzy untuk pengendalian tegangan konverter *buck* ini menggunakan metode Mamdani dengan tahapan sebagai berikut :

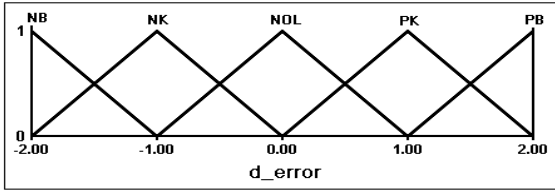
1. Menentukan variabel masukan berupa *error* dan perubahan *error* tegangan keluaran sumber tegangan variabel. *Error* merupakan selisih antara tegangan aktual dan tegangan referensi (20V). Perubahan *error* merupakan selisih *error* pada waktu proses sekarang dengan *error* pada waktu proses sebelumnya, dengan rentang waktu satu kali proses sekitar 1,8 ms. Dan variabel keluaran adalah sinyal kontrol yang akan mempengaruhi besarnya duty cycle PWM.

$$E(k) = T_{sp}(k) - T_r(k)$$

2. Menentukan jenis fungsi keanggotaan masukan dan keluaran serta pembagian nilai label atas beberapa variabel linguistik yang didasarkan pada hasil pengambilan data melalui percobaan sementara dari mengamati tegangan keluaran pada rangkaian buck-converter. Fungsi keanggotaan *error* dan *d\_error* masing-masing memiliki lima label yaitu negatif besar (NB), negatif kecil (NK), nol (Z), positif kecil (PK) dan positif besar (PB). *Range* fungsi keanggotaan *error* dan *d\_error* adalah -2V hingga 2V. Jika nilai *error* atau *d\_error* lebih kecil dari -2V nilai kebenarannya satu ( $\mu_{NB}=1$ ) dan jika lebih besar dari 2V nilai kebenarannya juga satu ( $\mu_{PB}=1$ ).



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Error



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Perubahan Error

Fungsi keanggotaan keluaran berupa PWM yang memiliki lima label yaitu 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%.

3. Fuzzifikasi, proses mengubah nilai masukan *crisp* (nilai nyata) menjadi masukan *fuzzy* sehingga didapatkan derajat fungsi keanggotaan untuk masing-masing nilai terukur.
4. Kaidah atur kontroler logika *fuzzy*. Setelah nilai masukan *crisp* diubah menjadi masukan *fuzzy*, selanjutnya diolah sesuai kaidah atur. Kaidah atur yang digunakan adalah :  
*Aturan ke-i : Jika (E adalah Ei) DAN (dE adalah dEi) MAKA (CI adalah Ci)*. Selengkapnya terdapat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Kaidah Atur

Error D_error	NB	NK	NOL	PK	PB
NB	100%	100%	75%	75%	50%
NK	100%	75%	75%	50%	25%
NOL	75%	50%	50%	25%	25%
PK	50%	50%	25%	25%	25%
PB	50%	50%	25%	25%	0%

Pengambilan keputusan (*inference*) oleh kontroler logika *fuzzy* menggunakan metode MAX-MIN.

5. Defuzzifikasi adalah proses untuk mengubah *fuzzy output* menjadi *crisp output*. Hasil defuzzifikasi inilah yang menentukan besarnya daya lampu yang dipakai. Metode defuzzifikasi pada penelitian ini menggunakan *Center of Grafity* (COG).

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengujian *Duty Cycle* Rangkaian Buck

Pengujian rangkaian buck ini untuk menentukan variabel keluarana fuzzy (*duty cycle*) dari sumber tegangan variabel yang menghasilkan tegangan keluaran 15 V.

**Tabel 3 Pengujian Buck Converter**

No	Vin	Dutycycle	Vout	No.	Vin	Dutycycle	Vout
1.	18V	94,91%	15	12.	19,1V	64,75%	15 V
2.	18,1V	95,3%	15	13.	19,2V	52,95%	15 V
3.	18,2V	92%	15	14.	19,3V	49,02%	15 V
4.	18,3V	90,2%	15	15.	19,4V	49,02%	15 V
5.	18,4V	88,24%	15	16.	19,5V	45,1%	15 V
6.	18,5V	88,24%	15	17.	19,6V	41,18%	15 V
7.	18,6V	84,32%	15	18.	19,7V	21,57%	15 V
8.	18,7V	72,55%	15	19.	19,8V	21,57%	15 V
9.	18,8V	68,63%	15	20.	19,9V	21,57%	15 V
10.	18,9V	68,63%	15	21.	20V	21,57%	15 V
11.	19V	64,71%	15	-	-	-	-

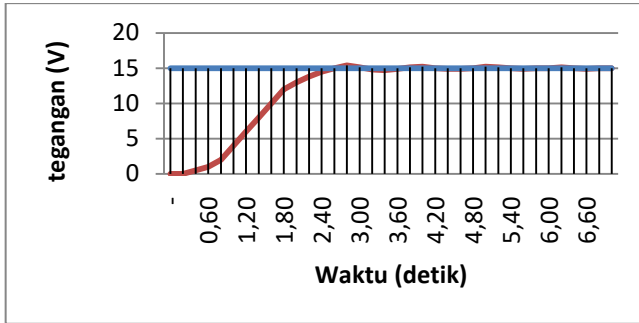
### 4.2. Pengujian Rangkaian Buck dengan Kontrol Logika Fuzzy

Data hasil pengujian karakteristik *buck converter* merupakan dasar dari penyusunan kaidah atur dalam fuzzy logic. Dalam pengujian rangkaian buck converter dengan kontrol logika fuzzy didapat data dalam tabel 4.

**Tabel 4. Pengujian Buck Converter Dengan Klf**

No	Vin (V)	Vout (V)	Error (%)
1	18.0	15.04	0.27
2	18.2	15.05	0.33
3	18.4	14.95	-0.33
4	18.6	15.1	0.67
5	18.8	14.96	-0.27
6	19.0	15.05	0.33
7	19.2	15.05	0.33
8	19.4	15.10	0.67
9	19.6	14.96	-0.27
10	19.8	15.1	0.67
11	20.0	15.12	0.80
rata-rata error			0.29

Kontrol logika fuzzy dapat dengan baik diimplementasikan pada pengaturan buck converter dengan rata-rata error 0,29%. Sedangkan respon sistem dapat dilihat dalam Gambar 8.



Gambar 8. Respon Sistem

Tabel 5. Karakteristik Respon

KARAKTERISTIK RESPON		NILAI
<i>rise time</i>	tr	0,14
<i>settling time</i>	ts	3,4
<i>max. over shoot</i>	%OS	2,6
<i>error steady state</i>	ess	0,3

## 5. PENUTUP

Hasil perencanaan dan realisasi sistem menggunakan kontrol logika fuzzy metode Mamdani dengan fungsi keanggotaan error, delta error dan keanggotaan keluaran masing-masing sebanyak 5 buah serta metode defuzzifikasi *Center of Gravity* untuk pengontrolan keluaran pada *buck converter* didapat hasil rata-rata error sebesar 0,29% dengan variabel masukan 18V – 20V dan setpoint keluaran 15V. Dengan *rise time* ( $t_r$ ) = 0,14s ; *settling time* ( $t_s$ ) = 3,4s ; *maximum over shoot* (%OS) = 2,6 dan *error steady state* (ess) = 0,3. Untuk kemungkinan mendapatkan kestabilan tegangan keluaran lebih lanjut, dapat dengan metode kontrol lain dan dikembangkan pada rangkaian dengan topologi yang berbeda.

## **6. DAFTAR PUSTAKA**

- [1] [https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/pustaka/files/110023/jurnal\\_eproc/](https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/pustaka/files/110023/jurnal_eproc/) diakses pada 14 Juni 2017.
- [2] <http://eltek.polinema.ac.id/index.php/eltek/article/download/46/46> diakses pada 14 Juni 2017.
- [3] Muhammad H. Rashid. 2007. Power Electronics SECOND Edition”, Englewood Cliff, New Jersey.
- [4] <http://www.atmel.com/Images/2502s.pdf> diakses pada tanggal 1 Juli 2017.
- [5] Suyanto, *Algoritma Optimasi*. Jogjakarta, Graha Ilmu, 2010, pp. 190–215.
- [6] Klir, George J., Yuan, Bo. 1 995. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications. Prentice Hall. New Jersey