

## Sistem Pengaturan Tegangan Menggunakan H-Bridge DC Chopper Berbasis Kendali Hybrid PID-Fuzzy

Mutmainnah dan Lutfi

Otomasi Sistem Permesinan, Politeknik ATI Makassar

Email: [mutmainnah@atim.ac.id](mailto:mutmainnah@atim.ac.id) ; [Lutfi@atim.ac.id](mailto:Lutfi@atim.ac.id)

### ABSTRAK

Renewable energy seperti solar cell dan wind power merupakan energi yang tidak akan habis dan tidak memberikan dampak negatif bagi lingkungan. Namun sumber energi ini menghasilkan daya yang fluktuatif karena bergantung pada kondisi alam. Dengan karakteristik tegangan dan arus yang berbeda-beda, dibutuhkan teknologi DC-DC converter yang mampu menjaga nilai tegangan DC yang konstan dan sesuai dengan level tegangan yang dibutuhkan. Pada penelitian ini telah disimulasikan sebuah sistem pengaturan hybrid dengan PID-Fuzzy pada DC-DC Converter dengan konfigurasi H-Bridge. Dari hasil simulasi sistem untuk nilai set point 15 volt dengan pengendali Hybrid PID-Fuzzy ( $K_p=0.5$ ,  $K_i=0.0002$  dan  $K_d=0.00002$ ) dan sumber beserta beban yang berubah-ubah, diperoleh output tegangan akan overshoot hingga 15.0345 volt kemudian akan mencapai steady state di detik ke 0.003 dengan nilai tegangan rata-rata 14.1776 volt atau error 5.48% .

**Kata kunci:** Regulator Tegangan, DC Chopper, Buck Boost Converter, Kendali Hybrid, Logika Fuzzy, PID

### ABSTRACT

Renewable energy such as solar cells and wind power is energy that will not run out and does not have a negative impact on the environment. However, this energy source produces fluctuating power because it depends on natural conditions. With different voltage and current characteristics, DC-DC converter technology is needed that is able to maintain a constant DC voltage value and in accordance with the required voltage level. In this study, a hybrid control system with PID-Fuzzy on a DC-DC Converter with H-Bridge configuration has been simulated. From the results of the system simulation for a set point value of 15 volts with a Hybrid PID-Fuzzy controller ( $K_p=0.5$ ,  $K_i=0.0002$  and  $K_d=0.00002$ ) and a variable source and load, the output voltage will overshoot up to 15.0345 volts then it will reach steady state at 0.003 seconds with an average voltage value of 14.1776 volts or an error of 5.48%.

**Keywords:** Voltage Regulator, DC Chopper, Buck Boost Converter, Hybrid Control, Fuzzy Logic, PID

## PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap energi listrik akan terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan standar hidup manusia. Sebagian besar energi listrik saat ini dihasilkan dari pembangkit konvensional yang berbahan bakar fosil. Pembangkit konvensional masih banyak digunakan karena kemampuannya untuk menyuplai listrik secara continue, reliable dan stabil. Walaupun demikian, bahan bakar fosil sudah tidak dapat diandalkan kedepannya karena diprediksi jumlahnya yang sangat terbatas dan terbukti memberikan dampak buruk terhadap lingkungan. Global warming sebagai salah satu dampak negatif penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik. Oleh karena itu dalam beberapa dekade terakhir ini, pembangkit renewable energi seperti solar cell, wind power, fuel cell, dan sejenisnya telah banyak dikembangkan.

Renewable energy seperti solar cell dan wind power merupakan energi yang tidak akan habis dan tidak memberikan dampak negatif bagi lingkungan. Namun sumber energi ini menghasilkan daya yang fluktuatif karena bergantung pada kondisi alam seperti solar cell yang bergantung pada sinar matahari dan wind power bergantung pada kecepatan angin. Oleh karena itu, setiap jenis pembangkit renewable energi ini memiliki karakteristik arus dan tegangan yang berbeda-beda.

Dengan karakteristik tegangan dan arus yang berbeda-beda, dibutuhkan teknologi DC-DC converter yang mampu menjaga nilai tegangan DC yang konstan dan sesuai dengan level tegangan yang dibutuhkan. Penelitian ini membahas tentang sistem pengaturan tegangan pada DC-DC Converter menggunakan empat

switch mosfet dengan konfigurasi H-Bridge. Sistem pengaturan yang digunakan adalah gabungan dari sistem konvensional PID Controller dengan sistem modern Fuzzy Logic Controller. Sistem gabungan ini mampu mereduksi nilai error sistem dan menjaga nilai set point walaupun diberikan gangguan berupa sumber tegangan dan beban arus yang berubah-ubah.

## METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Tenaga Listrik, Jurusan Otomasi Sistem Permesinan, Politeknik ATI Makassar pada bulan April – Juli 2021. Pada penelitian ini alat yang digunakan adalah computer PC atau Laptop untuk pengolahan data. Adapun software yang digunakan adalah software MATLAB. MATLAB adalah singkatan dari Matrix Laboratory, yang pertama kali dikenalkan oleh University of New Mexico dan University of Stanford pada tahun 1970. Software ini pertama kali memang digunakan untuk keperluan analisis numerik, aljabar linier dan teori tentang matriks. Saat ini, kemampuan dan fitur yang dimiliki oleh Matlab sudah jauh lebih lengkap dengan ditambahkannya toolbox yang sangat luar biasa. Beberapa manfaat yang didapatkan dari Matlab antara lain: Perhitungan Matematika, Komputasi numerik, Simulasi dan pemodelan, Visualisasi dan analisis data, Pembuatan grafik untuk keperluan sains dan Teknik, Pengembangan aplikasi, misalnya dengan memanfaatkan GUI. Jenis Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deduktif yang bersifat eksperimen melalui pemodelan simulasi yang merujuk pada teori dan hipotesis terkait parameter komponen yang telah digunakan. Penelitian ini adalah simulasi

rancangan sistem pengaturan tegangan pada rangkaian *H-Bridge DC Chopper* menggunakan pengendali *PID-Fuzzy*. Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dengan mendapatkan nilai parameter komponen, tegangan, arus dan duty cycle dari hasil perhitungan rumus yang telah diperoleh dari kajian pustaka dan skenario pengujian yang diharapkan.

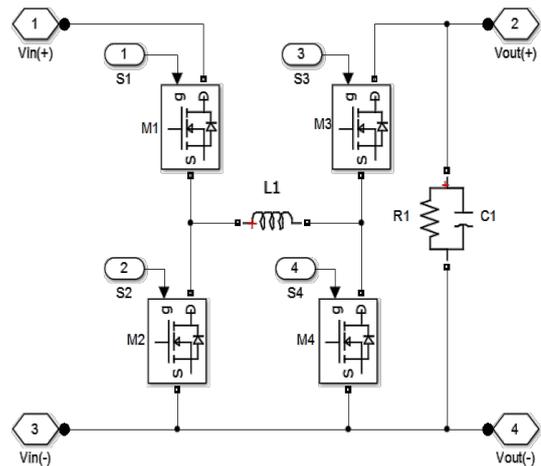
Sampel data yang telah diteliti dengan simulasi adalah nilai tegangan input sebesar 36 volt yang didapatkan dari empat buah baterai DC 9 volt. Tegangan output DC yang diinginkan adalah 15 volt. Maka didapatkan nilai duty cycle untuk *buck* sebesar 0.4167% dan untuk *buck boost* sebesar 0.294%. karena  $V_{out} < V_{in}$  maka mode *boost* tidak digunakan.

Beban sistem berupa beban resistif dengan arus beban yang berubah-ubah dari 0 hingga 2 Ampere bergantian dengan frekuensi 100 Hz. Jika digunakan frekuensi *switching* pada mosfet type N sebesar 50 KHz dan diinginkan toleransi *ripple* arus dan tegangan sebesar 1 % maka didapatkan nilai komponen L sebesar 10mH dan komponen C sebesar 77 $\mu$ F serta nilai R sebesar 10  $\Omega$ .

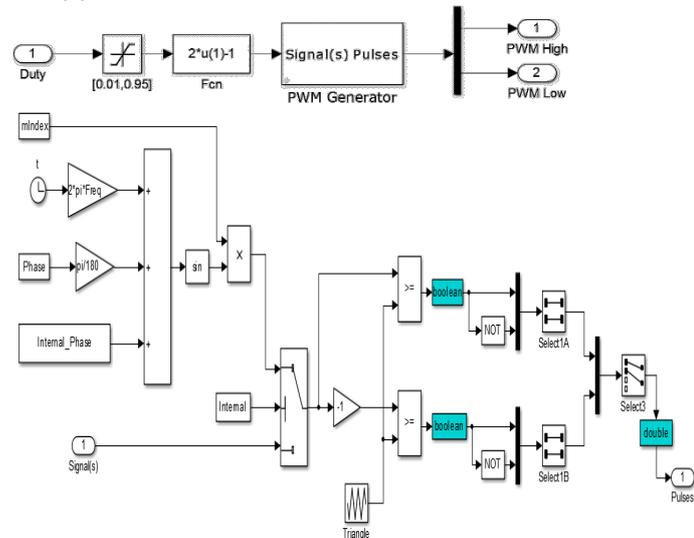
Data yang telah diperoleh selanjutnya di simulasikan dengan menggunakan Matlab Simulink. Hasil proses simulasi dianalisis dan divalidasi berdasarkan referensi dari beberapa hasil penelitian sebelumnya dan dari referensi jurnal-jurnal nasional maupun internasional.

Setelah diperoleh aksi kontrol yang sesuai dari hasil simulasi maka sistem akan diberi gangguan berupa sumber tegangan yang berubah-ubah.

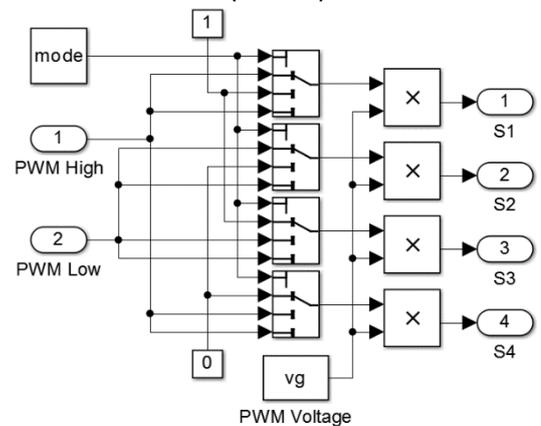
Adapun diagram blok keseluruhan sistem pengaturan tegangan yang telah dirancang dengan menggunakan Matlab Simulink adalah sebagai berikut:



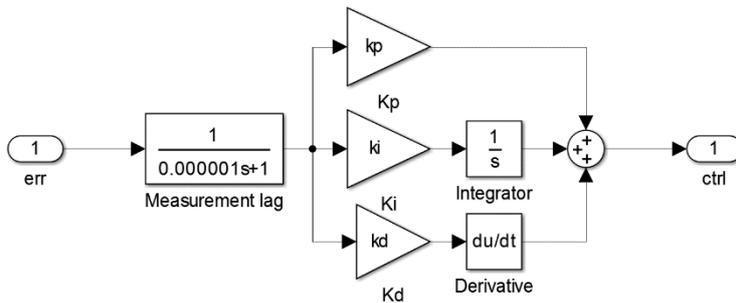
Gambar 1. Hasil Rancangan H-Bridge DC Chopper



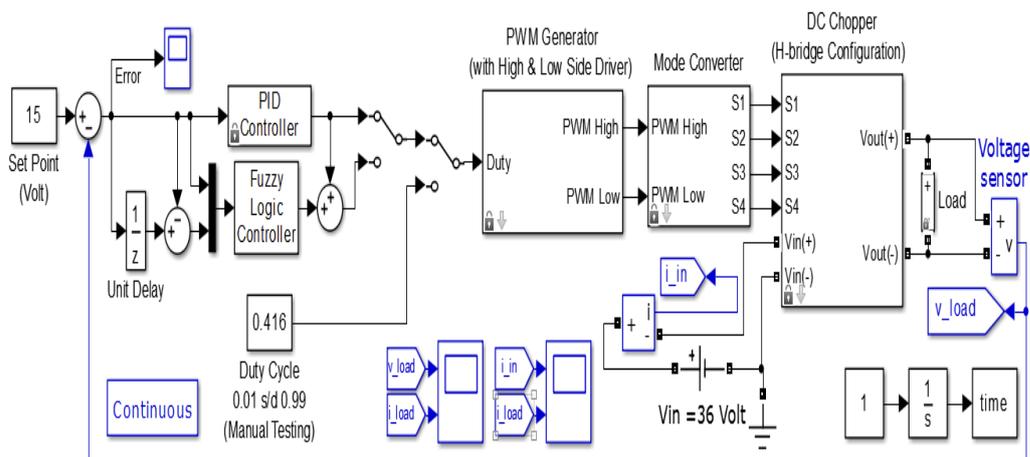
Gambar 2. Hasil Rancangan Rangkaian PWM Generator (Driver)



Gambar 3. Hasil Rancangan Rangkaian Mode Converter



Gambar 4. Hasil Rancangan Rangkaian PID Controller



Gambar 5. Hasil Rancangan Diagram Blok Sistem secara keseluruhan

```

FLC.m* x
function y = FLC (x)
SP=15; % Set point sebagai batas error
if ( (x(1) > SP) || (x(1) < -SP) || (x(2) > SP) || (x(2) < -SP) )
    y = 0 ;
else
    fuzflow = newfis('FLC');
    fuzflow = addvar (fuzflow, 'input', 'Error', [-SP SP]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'input', 1, 'Sangat Negatif', 'trimf', [-SP -SP -(SP/3.4)]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'input', 1, 'Negatif', 'trimf', [-SP -(SP/3.4) 0]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'input', 1, 'Nol', 'trimf', [-(SP/13.6) 0 (SP/13.6)]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'input', 1, 'Positif', 'trimf', [0 (SP/3.4) SP]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'input', 1, 'Sangat Positif', 'trimf', [(SP/3.4) SP SP]);
    fuzflow = addvar (fuzflow, 'input', 'Delta Error', [-SP SP]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'input', 2, 'Sangat Negatif', 'trimf', [-SP -SP -(SP/3.4)]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'input', 2, 'Negatif', 'trimf', [-SP -(SP/3.4) 0]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'input', 2, 'Nol', 'trimf', [-(SP/13.6) 0 (SP/13.6)]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'input', 2, 'Positif', 'trimf', [0 (SP/3.4) SP]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'input', 2, 'Sangat Positif', 'trimf', [(SP/3.4) SP SP]);
    fuzflow = addvar (fuzflow, 'output', 'Output FLC', [-(SP/2) (SP/2)]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'output', 1, 'Sangat Negatif', 'trapmf', [-(SP/2) -(SP/2) -(SP/2) -(SP/2)]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'output', 1, 'Negatif', 'trapmf', [-(SP/4) -(SP/4) -(SP/4) -(SP/4)]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'output', 1, 'Cukup Negatif', 'trapmf', [-(SP/6) -(SP/6) -(SP/6) -(SP/6)]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'output', 1, 'Nol', 'trapmf', [0 0 0 0]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'output', 1, 'Cukup Positif', 'trapmf', [(SP/6) (SP/6) (SP/6) (SP/6)]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'output', 1, 'Positif', 'trapmf', [(SP/4) (SP/4) (SP/4) (SP/4)]);
    fuzflow = addmf (fuzflow, 'output', 1, 'Sangat Positif', 'trapmf', [(SP/2) (SP/2) (SP/2) (SP/2)]);
    Rules = [
        1 1 1 1 1 ; 1 2 1 1 1 ; 1 3 3 1 1 ; 1 4 6 1 1 ; 1 5 7 1 1
        2 1 1 1 1 ; 2 2 1 1 1 ; 2 3 4 1 1 ; 2 4 4 1 1 ; 2 5 7 1 1
        3 1 2 1 1 ; 3 2 3 1 1 ; 3 3 4 1 1 ; 3 4 5 1 1 ; 3 5 6 1 1
        4 1 1 1 1 ; 4 2 4 1 1 ; 4 3 4 1 1 ; 4 4 7 1 1 ; 4 5 7 1 1
        5 1 2 1 1 ; 5 2 2 1 1 ; 5 3 5 1 1 ; 5 4 7 1 1 ; 5 5 7 1 1];
    fuzflow = addrule(fuzflow,Rules); clear Rules;
    y = evalfis ([x(1) x(2)],fuzflow);
end
    
```

Gambar 6. Hasil Rancangan Program M-File dari FLC

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan pembuatan simulasi sistem dengan *Matlab Simulink* selanjutnya dibuat skenario pengujian untuk mengetahui keandalan sistem yang telah dibangun.

### 1) Pengujian Manual

Pengujian manual ini dilakukan untuk mengetahui keakuratan rangkaian *H-Bridge DC Chopper*, *PWM Generator* dan *Mode Converter* yang telah dibangun. Untuk  $V_{in}$  sebesar 36V maka untuk  $V_{out}$  15Volt pada mode buck dibutuhkan *duty cycle* sebesar 0.4167% dan untuk mode *buck boost* sebesar 0.294%. selanjutnya untuk mode *boost* jika output  $V_{out}$  yang diinginkan sebesar 50Volt maka *duty cycle* seharusnya sebesar 0.28%. pengujian ini dilakukan tanpa beban arus. Hasil pengujian manual ini ditunjukkan pada gambar 7, 8, dan 9 untuk masing – masing nilai *duty cycle*.

Dari hasil pengujian manual didapatkan untuk mode *buck* dengan *duty cycle* 0.416% didapatkan nilai tegangan akan *steady state* di tegangan 14.7Volt pada 0.007detik. untuk mode *Buck boost* dengan

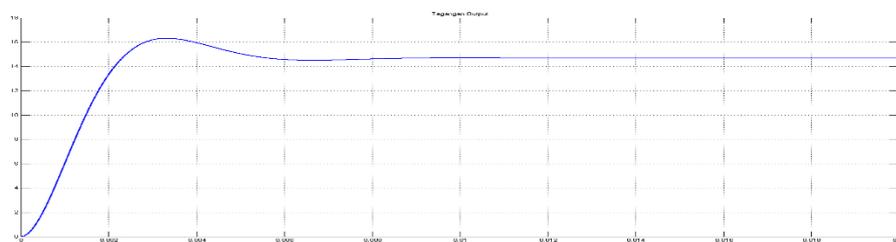
*duty cycle* 0.294% didapatkan nilai tegangan akan *steady state* di 14.5volt pada 0.006 detik. Sedangkan untuk mode *boost* dengan nilai *duty cycle* 0.28% didapatkan nilai tegangan output sebesar 48 Volt di detik 0.006. Selanjutnya dengan menggunakan rumus:

$$\text{Error} = \left| \frac{\text{Analitik} - \text{Simulink}}{\text{Analitik}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

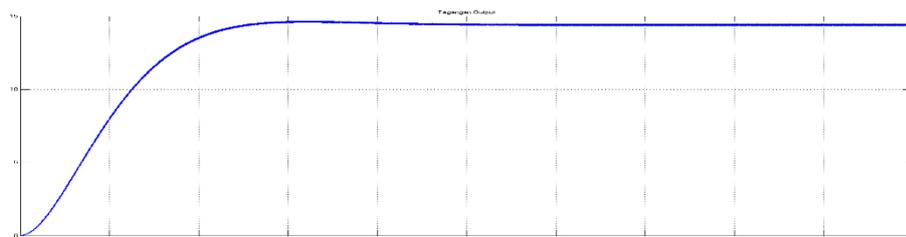
Didapatkan nilai error untuk mode *buck* sebesar 2%, mode *buck boost* sebesar 3% dan error untuk mode *boost* sebesar 4%.

### 2) Pengujian Sistem Kalang Tertutup

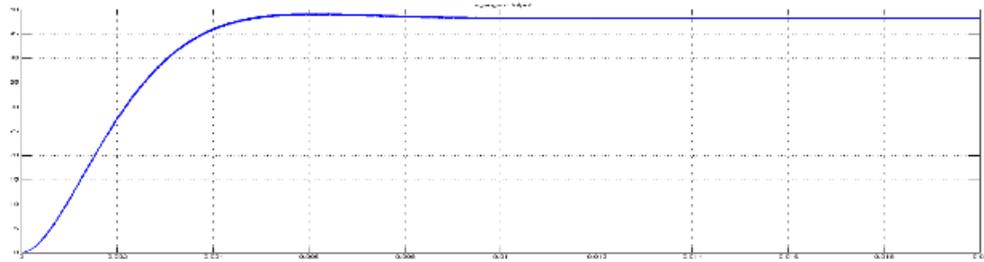
Pada pengujian ini akan digunakan mode *buck converter* karena memiliki nilai error terkecil. Adapun skenario pengujian pada tahap ini adalah dengan menentukan nilai tegangan output 15Volt sebagai nilai *set point* dengan kondisi tanpa beban arus dan dengan beban arus 0 dan 2A bergantian dengan frekuensi 100Hz.



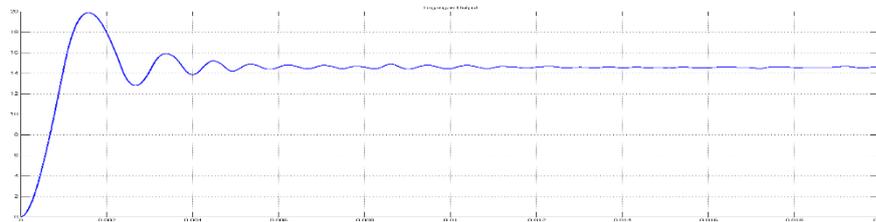
Gambar 7. Hasil simulasi pengujian manual untuk mode buck dengan *duty cycle* 0.416%



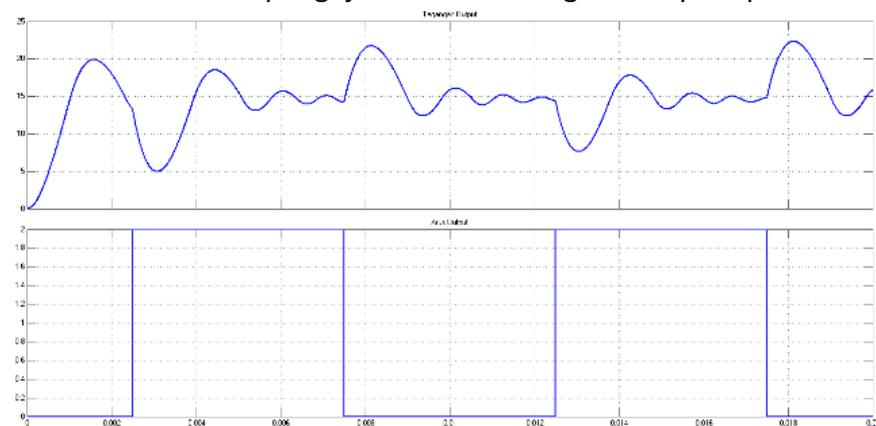
Gambar 8. Hasil simulasi pengujian manual untuk mode buckboost dengan *duty cycle* 0.294%



Gambar 9. Hasil simulasi pengujian manual untuk mode boost dengan duty 0.28%



Gambar 10. Hasil simulasi pengujian sistem kalang tertutup tanpa beban arus.



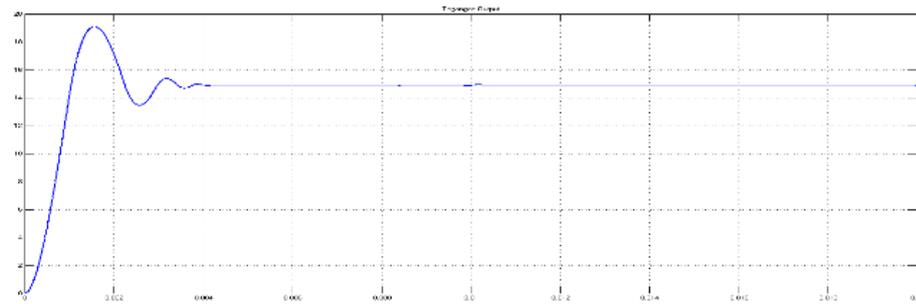
Gambar 11. Hasil simulasi pengujian sistem kalang tertutup dengan beban arus 0-2A dengan frekuensi 100Hz

Pada gambar 10 terlihat bahwa dengan sistem kendali kalang tertutup maka sistem dapat mencapai kondisi *steady state*-nya di nilai tegangan 14.5 volt pada detik ke 0.005. Namun pada gambar 11, saat sistem diberikan beban arus pulsa 2A 100Hz maka tegangan output akan beresilasi hingga 23 volt saat awal beban naik dan 7 volt saat awal beban turun dan akan berusaha mempertahankan *steady state*-nya di rentang nilai 14 - 16 volt.

### 3) Pengujian dengan PID Controller

Salah satu kekurangan *PID Controller* adalah penyetulan nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang masih melalui tahap trial and

*error*. *Ziegler-Nichols* memperkenalkan dua metode untuk pemilihan nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yakni metode kurva reaksi dan metode osilasi. Parameter PID yang didapat dari kedua metode *tuning*, hanyalah nilai rujukan awal agar proses trial and *error* lebih terarah. Pada pengujian ini akan digunakan nilai parameter PID dengan hasil *tuning* metode pertama sehingga didapatkan nilai parameter awal yakni nilai  $K_p = 4.292$ , nilai  $K_i = 0.0018519$  dan nilai  $K_d = 0.000135$ . Adapun tegangan output dan arus input yang didapatkan ditunjukkan pada gambar 12.

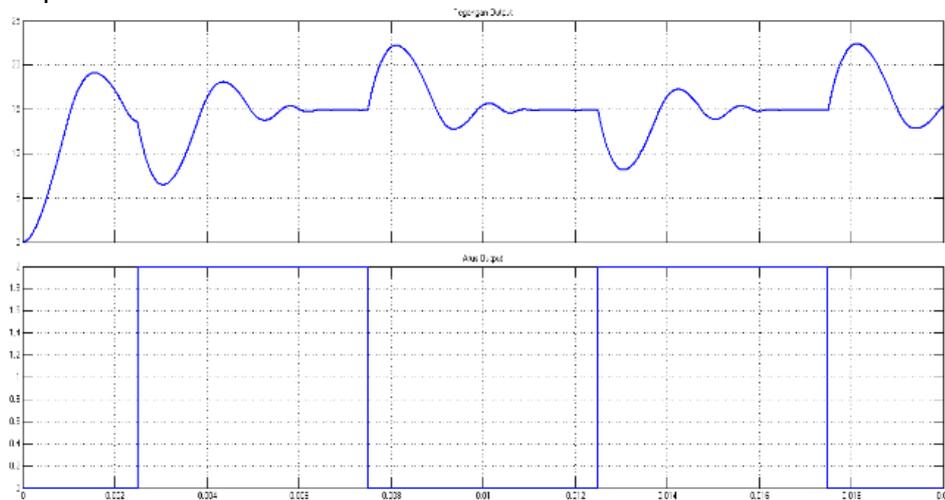


**Gambar 12.** Hasil simulasi pengujian dengan pengendali PID tanpa beban dengan  $K_p=4.292$ ,  $K_i=0.0018519$  dan  $K_d=0.000135$  (Tegangan Output)

Jika sistem diberikan beban pulsa arus sebesar 2A dengan 100Hz maka didapatkan output tegangan dan arus input seperti ditunjukkan pada gambar 13.

Dari gambar 13 terlihat bahwa tegangan output akan kembali berosilasi

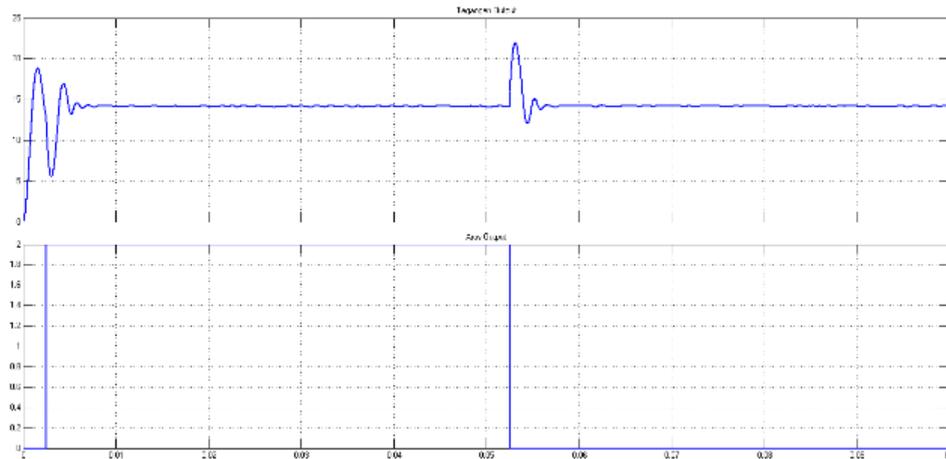
ketika diberi beban yang berubah-ubah sehingga nilai dari parameter PID perlu diperbaiki sesuai dengan kelebihan masing-masing *controller*.



**Gambar 13.** Hasil simulasi pengujian dengan pengendali PID dengan beban pulsa arus 2A 100 Hz dan nilai  $K_p=4.292$ ,  $K_i=0.0018519$  dan  $K_d=0.000135$  (Tegangan Output dan Arus Output)

Aturan dengan pendekatan *Ziegler-Nichols* memberikan sebuah dugaan yang mendidik untuk nilai parameter dan menunjukkan titik awal yang baik untuk penyetelan. Dengan melihat nilai tegangan

output pada gambar 18 maka selanjutnya nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  akan mulai di tuning dengan mengubah satu persatu parameternya sambil melihat kurva outputnya.



**Gambar 14.** Hasil simulasi pengujian sistem dengan pengendali PID dengan beban arus = 2A dengan frekuensi kemunculan 10Hz.

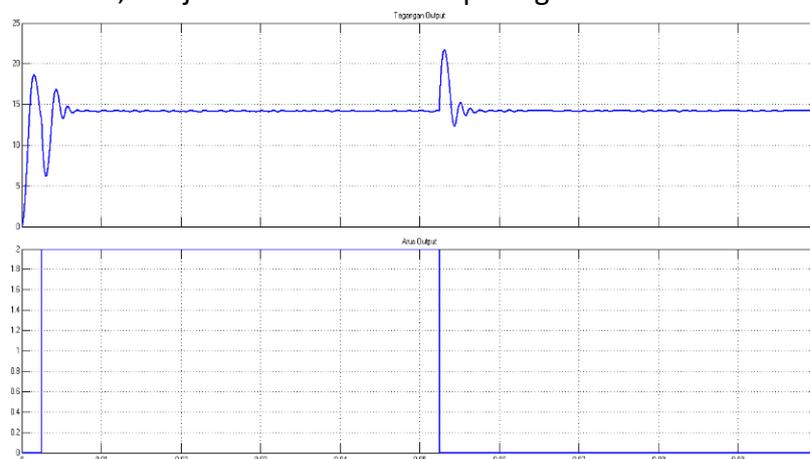
Setelah mencoba beberapa nilai parameter PID, sistem memberikan hasil yang belum memuaskan sehingga frekuensi kemunculan beban pulsa arus diperkecil menjadi 10 Hz kemudian parameter PID diatur dengan nilai  $K_p = 0.5$ ,  $K_i = 0.0002$  dan  $K_d = 0.00002$ . Grafik tegangan output yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 14.

Dari gambar 14 terlihat bahwa tegangan output akan mengalami *overshoot* kemudian beberapa saat akan menuju *steady state*. Pada kemunculan beban dari 0 ke 2 A, terjadi *transient*

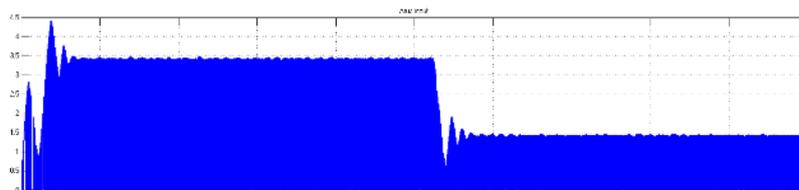
dengan *overshoot* sebesar 18.8 volt di detik ke 0.0016 dan *steady state* di 0.01 detik pada rentang tegangan 14.1 dan 14.5 volt. Sedangkan pada kondisi beban dari 2A ke 0A maka akan terjadi *overshoot* sebesar 21.9 volt di detik ke 0.053 dan akan *steady state* di 0.062 detik di rentang tegangan 14.1 dan 14.4 volt.

#### 4) Pengujian dengan Kendali Hybrid

Pada pengujian ini akan dihybridkan hasil pengendalian PID dengan pengendalian *Fuzzy*. Adapun hasil dari simulasi pengujian dapat diperlihatkan pada gambar 15.



**Gambar 15.** Hasil simulasi pengujian sistem dengan pengendali Hybrid dengan beban arus = 2A frekuensi kemunculan 10Hz



**Gambar 16.** Hasil simulasi pengujian sistem dengan pengendali Hybrid (Arus input).

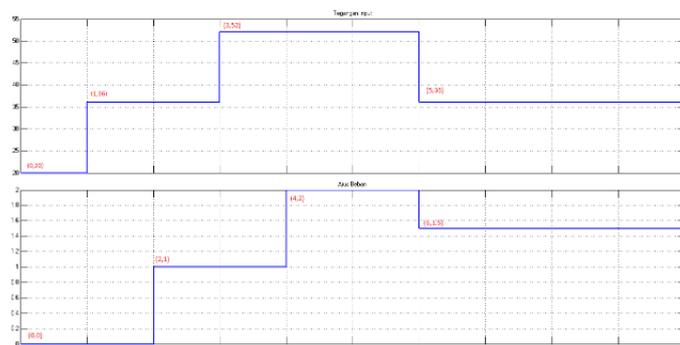
Dari gambar 16 terlihat bahwa tegangan output akan mengalami *overshoot* kemudian beberapa saat akan menuju *steady state*. Pada kemunculan beban dari arus 0 ke 2A, terjadi *transient* dengan *overshoot* sebesar 18.2 volt di detik ke 0.0015 dan *steady state* di 0.09 detik pada rentang tegangan 14.1 dan 14.4 volt. Sedangkan pada kondisi beban dari 2A ke 0A maka akan terjadi *overshoot* sebesar 21.6 volt di detik ke 0.053 dan akan *steady state* di 0.059 detik di rentang tegangan 14.1 dan 14.4 volt.

Gambar 21 memperlihatkan kondisi arus input dimana jika tanpa beban maka arus akan bernilai 1.4 Ampere. Jika sistem diberikan beban arus 2A maka arus input akan naik menjadi 3.4 Ampere.

Dengan membandingkan hasil grafik pada gambar 19 dan gambar 20 dapat dilihat bahwa pengendali *hybrid PID-Fuzzy* tidak terlalu besar perbedaannya dengan pengendali PID. Kelebihan pengendali *Hybrid* dapat diamati dari kondisi *overshoot* yang lebih kecil 0.3 hingga 0.4 volt dan dengan waktu *steady state* yang lebih cepat 0.0001 detik.

### 5) Pengujian dengan Sumber dan Beban yang berubah-ubah

Pada pengujian ini, sistem akan diberikan sumber tegangan yang berubah-ubah sebesar 20volt, 36volt, 52volt dan kembali ke 36Volt dengan beban arus yang berubah-ubah sebesar 0A, 1A, 2A dan 1.5A. Untuk waktu perubahan sumber tegangan dan beban arus dapat dilihat dari grafik pada gambar 17.

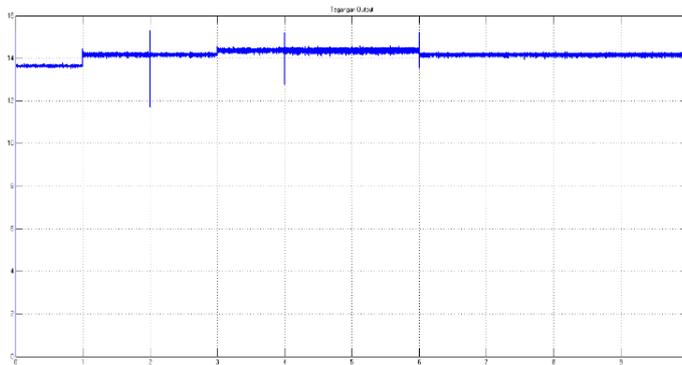


**Gambar 17.** Waktu perubahan sumber tegangan dan beban arus.

**Tabel 3.** Waktu perubahan sumber tegangan dan beban arus

Time (second)	Voltage Source (volt)	Load Current (ampere)
0-1	20	0
1-2	36	0
2-3	36	1
3-4	52	1
4-6	52	2
6-10	36	1.5

Selanjutnya sistem akan dijalankan dengan menggunakan pengendali Hybrid *PID-Fuzzy* dengan tujuan untuk mereduksi error yang terjadi akibat gangguan dari perubahan nilai tegangan sumber maupun beban arus.



**Gambar 18.** Hasil pengujian simulasi tegangan output. Untuk sumber dan beban berubah-ubah.

Dari gambar 18 dan tabel 4 yang terlihat bahwa sistem akan berusaha stabil walaupun diberi gangguan di sisi input berupa perubahan sumber tegangan maupun di sisi output berupa perubahan arus beban. Dengan kendali hybrid *PID-Fuzzy* maka sistem regulator tegangan DC menggunakan rangkaian *H-bridge DC Chopper* akan mengeluarkan sinyal tegangan output dengan *overshoot* hingga 15.0345 volt kemudian akan mencapai *steady state* di detik ke 0.003 dengan nilai tegangan rata-rata 14.1776 volt atau error 5.48%.

**Tabel 4.** Analisa Gambar 23 dari waktu 0 hingga 10 detik

Time Analysis	Source & Load	Overshoot	Steady State	Error
0 – 1	20 Volt 0 Amp	15.0345 Volt 0.0019 Sec	13.6328 Volt 0.006 Sec	9.11%
1 – 2	36 Volt 0 Amp	14.4706 V 1.0991 Sec	14.1846 Volt 1.005 Sec	5.44%
2 – 3	36 Volt 1 Amp	15.3001 Volt 2.0012 Sec	14.1789 Volt 2.0027. Sec	5.47%
3 – 4	52 Volt 1 Amp	14.5610 Volt 3.0006 Sec	14.3700 Volt 3.0013 Sec	4.20%
4 – 6	52 Volt 2 Amp	15.2040 Volt 4.0009 Sec	14.3648 Volt 4.0012 Sec	4.23%
6 – 10	36 Volt 1.5 Amp	15.2239 Volt 6.0003 Sec	14.1728 Volt 6.0019 Sec	5.51%
<b>0-10 detik</b>		15.0345 Volt	14.1776 Volt Mean=0.003Sec	5.48%

## KESIMPULAN

Berdasarkan kajian pustaka dan hasil dari pengujian simulasi sistem pada jurnal ini maka dapat disimpulkan:

1. *H-Bridge DC Chopper* memiliki tiga mode konversi yakni *Buck Converter*, *Boost Converter* dan mode *Buck boost Converter*.
2. Untuk menurunkan tegangan, nilai error pada pengujian buck converter lebih kecil daripada pengujian buck boost converter.
3. Waktu yang dibutuhkan rangkaian *H-bridge Dc Chopper* untuk mencapai nilai *steady state* adalah sebesar 0.01 detik sehingga pemberian pulsa beban arus sebaiknya maksimal 25 Hz.
4. Pengendali Hybrid PID-Fuzzy memiliki nilai  $K_p=0.5$ ,  $K_i=0.0002$  dan  $K_d=0.00002$  serta bentuk fungsi keanggotaan *fuzzy* didesain untuk meredam *disturbance*
5. Pada hasil simulasi uji sistem kemampuan pengendali *hybrid PID-fuzzy* memiliki nilai *overshoot* dan waktu *steady state* yang lebih kecil dari pada pengendali PID konvensional

Pada hasil uji sistem dengan gangguan pada sumber tegangan dan arus beban maka keluaran tegangan pada sistem akan overshoot hingga 15.0345 Volt kemudian akan mencapai *steady state* di detik ke 0.003 dengan nilai tegangan rata-rata 14.1776 Volt atau error 5.48%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Gaboriault, Mark, "A High Efficiency, Non-Inverting, Buck-Boost DC-DC Converter" Allegro MicroSystems 115 Northeast Cutoff Worcester, MA 01606 USA
- Kazmierczuk, Marian K. "Pulsewidth Modulated DC-DC Power Converters", Wiley, Ohio, 2008.
- Luo, Fang Lin, and Hong Ye, "Essential DC/DC Converters", Taylor & Francis Group., London New York, 2006
- Ogata, Katsuhiko, "Teknik Kontrol Automatik", Edisi Kedua, Jilid I dan II. Penerbit Erlangga. Jakarta. 1996. [6] Rashid, Muhammad H, "Power Electronics Handbook Third Edition", Elsevier, Inc, Florida, 2011.
- Rashid, Muhammad H, and Rashid, Hasan M, "SPICE for Power Electronics and Electric Power Second Edition", Taylor & Francis Group, London New York, 2006.
- Shiau, J. K. dan Cheng, C. J. "Design of a non-inverting synchronous buck-boost DC/DC power converter with moderate power level, Robotics and Computer Integrated Manufacturing", vol. 26, no. 3, pp. 263-267, June 2010.
- Thomas Wahyu Dwi Hartanto & Y. Wahyu Agung Prasetyo. "Analisis Dan Desain Sistem Kontrol dengan Matlab". Penerbit Andi. Yogyakarta. 2003.
- Widodo, Thomas sri, "Sistem Neuro Fuzzy", Graha Ilmu, Yogyakarta, 2005.