

Kontrol Konverter Flyback Tipe Boost Sebagai Sistem Pengisi Kapasitor Untuk Robot Sepak Bola Beroda

Rosida Ayu Fatimah¹, Donny Radianto², Totok Winarno³,

e-mail: rosidaayu48@gmail.com, donny.radianto@polinema.ac.id, totok.winarno@polinema.ac.id

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 10 Agustus 2023
Direvisi 7 September 2023
Diterbitkan 30 September 2023

Kata kunci:

Robot Sepak Bola Beroda
Kapasitor
Konverter *Flyback*

Keywords:

Wheeled Soccer Robot
Capacitor
Flyback Converter

Penulis Korespondensi:

Rosida Ayu Fatimah,

ABSTRAK

Pada Kontes Robot Sepak Bola Indonesia - Beroda (KRSBI-B), robot sepak bola beroda ini bertugas untuk mengoper dan menendang bola selama perlombaan berlangsung. Dengan adanya penendang, robot dapat menendang maupun mengoper bola. Pada sistem penendang ini menggunakan solenoid untuk menghasilkan energi magnetik yang digunakan untuk menarik lengan penendang robot. Energi dari sistem penendang robot sepak bola beroda ini diperoleh dari sebuah kapasitor 4700 μ F dengan tegangan 450V. Karena robot hanya menggunakan tegangan baterai sebesar 15V, maka diperlukan sebuah konverter untuk menaikkan tegangan menjadi 400V agar dapat mengisi kapasitor. Pada penelitian ini konverter yang akan digunakan yaitu konverter flyback tipe boost. Digunakan konverter flyback karena antara input dan output terdapat isolasi galvanik yang menunjukkan bahwa topologi konverter flyback merupakan topologi terisolasi catu dayanya. Untuk membuat output tegangan pada konverter flyback agar stabil sesuai dengan set point yang ditentukan digunakan kontrol PI. Hasil dari pengujian pada konverter flyback diterapkan kontrol PI dengan masing - masing parameter $K_p = 4,2$ dan $K_i = 0,4$. Dimana hasil dari parameter PI tegangan yaitu error steady state -0.04%, rise time 3.5 s, peak time 13.5 s, settling time 0.5 s, overshoot 0.96%. Pada proses pengisian kapasitor dengan setpoint 380V kapasitor dapat terisi penuh pada detik ke 9.5 s.

ABSTRACT

In the Indonesian Wheeled Football Robot Contest (KRSBI-B), this wheeled soccer robot is tasked with passing and kicking the ball during the competition. With the kicker, the robot can kick or pass the ball. This kicking system uses a solenoid to generate magnetic energy which is used to pull the robot's kicking arm. The energy for this wheeled soccer robot kicking system is obtained from a 4700 μ F capacitor with a voltage of 450V. Because the robot only uses a battery voltage of 15V, a converter is needed to increase the voltage to 400V in order to charge the capacitor. In this study the converter that will be used is a boost type flyback converter. A flyback converter is used because there is galvanic isolation between the input and output which indicates that the topology of the flyback converter is an isolated power supply topology. To make the output voltage on the flyback converter stable according to the specified set point, PI control is used. The results of the test on the flyback converter were applied to PI control with each parameter $K_p = 4.2$ and $K_i = 0.4$. Where the results of the voltage PI parameters are steady state error -0.04%, rise time 3.5 s, peak time 13.5 s, settling time 0.5 s, overshoot 0.96%. In the process of charging the capacitor with the 380V setpoint, the capacitor can be fully charged in 9.5 s.



Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang,
Jl. Soekarno HattaNo. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia, 65141.
Email: rosidaayu48@gmail.com
+62 857 3307 5743

1. PENDAHULUAN

Saat ini banyak konverter DC – DC yang diaplikasikan pada peralatan elektronik yang hampir selalu kita gunakan, contohnya digunakan sebagai *charger* [1]. Dalam perkembangannya konverter DC – DC juga digunakan pada aplikasi robotika [2]. Hal ini dikarenakan beberapa perangkat pada robot memiliki tegangan kerja yang berbeda dengan tegangan kerja dari sumber yang berupa baterai. Contohnya yaitu robot sepak bola beroda. Robot sepak bola beroda ini dalam KRI dikenal dengan KRSBI-B. KRI (Kontes Robot Indonesia) merupakan sebuah ajang kompetisi lomba robotika yang diadakan setiap tahun oleh PUSPERNAS (Pusat Prestasi Nasional), Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia. KRSBI – B (Kontes Robot Sepak Bola Indonesia – Beroda) merupakan salah satu divisi perlombaan yang ada di KRI [3]. Robot sepak bola beroda ini memiliki tugas yaitu untuk mengoper dan menendang bola pada saat perlombaan berlangsung. Pada robot sepak bola beroda ini terdapat sistem penendang robot yang menggunakan solenoid untuk menghasilkan energi magnetik yang digunakan untuk menarik lengan penendang robot. Dimana penyedia energi sistem penendangnya ini diperoleh dari sebuah kapasitor dengan tegangan dan kapasitas yang tinggi. Semakin tinggi jumlah muatan yang dimasukkan ke dalam kapasitor, maka tendangan yang dihasilkan semakin kuat [4].

Untuk mengisi sebuah kapasitor dengan tegangan dan kapasitas yang tinggi dibutuhkan sebuah konverter untuk mengubah tegangan baterai menjadi tegangan tinggi. Konverter daya DC/DC akan mengubah tegangan baterai menjadi tegangan yang lebih tinggi untuk disimpan dalam kapasitor [5]. Muatan dan tegangan tinggi dibutuhkan agar tendangan pada robot maksimal. Pada proses pengisian kapasitor diperlukan waktu pengisian yang cepat dan stabil agar ketika proses penendang bekerja mempunyai energi yang cukup. Hal ini diperlukan pada saat perlombaan berlangsung, robot harus mampu menendang dan mengoper bola dengan cepat.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, untuk mengimplementasikan sistem penendang tegangan tinggi dengan selenoida pada robot sepak bola beroda digunakan trafo *step-up* untuk meningkatkan tegangan dari 16V menjadi 400V yang kemudian akan digunakan untuk proses pengisian kapasitor elektrolit 6200 μ F dengan tegangan 400V. Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi kapasitor tersebut adalah 20 detik. Arduino digunakan untuk mengontrol sistem *kicker* dengan memicu trafo untuk meningkatkan tegangan dari baterai [6].

Dalam pengaplikasiannya 20 detik untuk mengisi sebuah kapasitor masih terlalu lama sehingga untuk mempercepat pengisian tersebut pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya digunakan pemodelan dan simulasi *boost converter* yang menaikkan tegangan input 24V ke tegangan output 350V dalam pengisian kapasitor pada robot sepak bola beroda digunakan *Phyton*. Kapasitor yang digunakan pada robot memiliki kapasitas 4700 μ F dengan tegangan 450V. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada waktu 6 detik, *boost converter* dengan tegangan keluaran sebesar 350V dan menggunakan kapasitor 4700 μ F mampu mencapai kondisi stabil dengan *duty cycle* yang dibutuhkan yaitu sebesar 93% [7]. Prinsip dasar *boost converter* yaitu dengan mengendalikan siklus kerja (*duty cycle*) dari sakelar (transistor) yang diatur oleh kontroler. Prinsip ini mengandalkan penyimpanan energi dalam medan magnet induktor selama periode sakelar aktif dan melepaskannya saat sakelar dimatikan melalui diode penyearah [8]. Namun pada *boost converter* ini komponen yang digunakan lebih besar dan tidak memiliki isolasi tegangan.

Untuk menangani kekurangan pada *boost converter*, penelitian sebelumnya dilakukan yaitu dengan membuat sistem *Photovoltaic* (PV), diperlukan konverter DC - DC yang bisa diatur naik atau turun sesuai kebutuhan aplikasi untuk mendapatkan tegangan tinggi atau rendah dari sistem PV. Beberapa masalah yang harus dihadapi dalam sistem PV adalah biaya, efisiensi, dan *shading* parsial modul PV. Oleh karena itu, dalam penelitian ini konverter boost interleaved dua fase dan konverter flyback disimulasikan dan dianalisis secara terpisah menggunakan software MATLAB simulink. Tegangan masukan yang digunakan adalah 54V, sedangkan konverter boost dua fasa menghasilkan tegangan keluaran sekitar 232V dan konverter flyback menghasilkan tegangan keluaran sekitar 238V, dengan daya keluaran sebesar 295W yang sesuai dengan modul PV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konverter flyback lebih baik daripada konverter boost interleaved dua fasa dalam hal efisiensi selama perubahan iradiasi, dengan efisiensi konverter flyback mencapai 97,5% yang merupakan persentase signifikan. Selain itu, konverter flyback juga lebih aman karena memiliki isolasi [9].

Selain itu terdapat penelitian untuk membuat *Uninterruptible Power Supply* (UPS), pada konverter PFC digunakan *flyback converter*. *flyback converter* dengan tipe *buck converter* digunakan dengan kontroler PI untuk menjaga tegangan *output* pada 14V. Kontroler PI dianggap berhasil jika dapat menjaga kestabilan tegangan *output* yang diatur. Konverter flyback memiliki



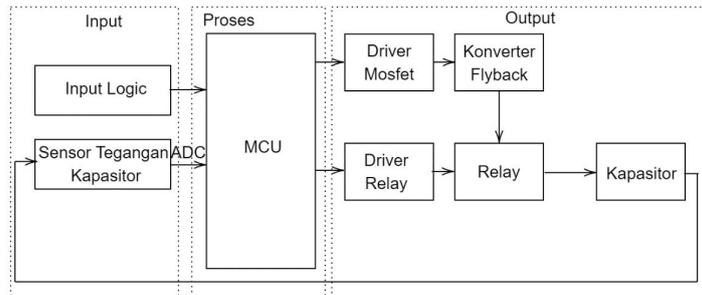
karakteristik serupa dengan *buck-boost converter*, tetapi kelebihanannya dibanding konverter lainnya adalah adanya isolasi antara sisi *input* dan *output*. Fungsinya di sini adalah untuk mengisi baterai. Untuk menguji UPS, lampu dan *ballast* digunakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai impedansi tidak dapat diasumsikan sama dengan nol[10].

Penelitian sebelumnya dapat dijadikan sebagai landasan dasar dalam perencanaan desain konverter flyback tipe boost yang akan digunakan untuk mengisi sebuah kapasitor. Dalam penelitian yang akan dilakukan ini digunakan kontrol PID untuk membuat *output* tegangan pada konverter flyback stabil pada 380V untuk proses pengisian kapasitor. Pada penelitian ini digunakan sebuah kapasitor dengan tegangan 450V dan kapasitas 4700µF serta tegangan baterai pada robot adalah tegangan 15V. Diharapkan kontrol PID dapat bekerja sesuai dengan perancangan dan konverter dapat mengisi kapasitor dengan cepat dan stabil.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Blok Diagram Sistem

Gambar 1 merupakan blok diagram sistem yang digunakan pada penelitian meliputi *input*, *proses*, *output*.

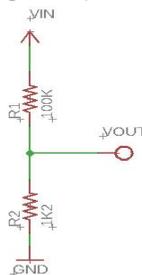


Gambar 1: Blok Diagram Sistem

Input pada sistem berasal dari *input logic* mikroprosesor rangkaian *mainboard* yang ada pada robot yang berupa logika 1 atau 0, yang digunakan untuk mentrigger Arduino nano. Sensor tegangan kapasitor akan mendeteksi tegangan yang dihasilkan oleh kapasitor. Hasil pembacaan sensor akan diproses pada mikrokontroler. Sensor tegangan disini menggunakan prinsip pembagi tegangan. Untuk mengontrol atau mengolah perintah yang telah diterima oleh mikrokontroler dan akan diteruskan ke *output* digunakan mikrokontroler berupa Arduino nano. Arduino nano digunakan untuk mengontrol konverter flyback dan relay. Pada sistem ini konverter flyback diperlukan karena untuk menghasilkan tegangan keluaran yang tinggi dari tegangan masukan yang rendah yang kemudian digunakan untuk mengisi kapasitor. Tegangan keluaran dari konverter flyback dikontrol menggunakan PID agar diperoleh kestabilan tegangan yang akan masuk pada sistem pengisian kapasitor. Relay pada rangkaian ini digunakan untuk memutuskan dan menyambungkan tegangan keluaran dari rangkaian konverter ke kapasitor.

2.2 Perancangan Rangkaian Sensor Tegangan

Pada rangkaian sensor tegangan berfungsi untuk mengetahui nilai tegangan pada kapasitor. Sensor ini menggunakan rangkaian pembagi tegangan. Tegangan yang akan diukur pada pembagi tegangan memiliki nilai maksimal 400V kemudian tegangan diturunkan menjadi tegangan maksimal 5V. Rangkaian pembagi tegangan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Rangkaian Pembagi Tegangan

Dalam perancangan Gambar 2 rangkaian pembagi tegangan, terdapat perhitungan untuk menentukan nilai resistor yang digunakan untuk menghasilkan tegangan keluaran yang sesuai kebutuhan. Nilai resistansi pada R1 ditentukan sebesar 100 KΩ. Berikut persamaan 1 untuk menentukan nilai resistansi pada R2 yang digunakan:

$$V_{out} = \frac{R2}{R1 + R2} \times V_{in} \tag{1}$$



$$5 = \frac{R2}{100000 + R2} \times 400$$

$$500000 + 5 R2 = 400 R2$$

$$R2 = 1265,82 \Omega$$

Dari perhitungan di atas nilai resistansi tersebut tidak terdapat dipasaran, sehingga nilai resistansi untuk $R2$ yang digunakan yaitu sebesar 1200Ω .

2.3 Perancangan Konverter *Flyback*

Konverter flyback pada rangkaian ini digunakan untuk menaikkan tegangan baterai 15V ke 400V untuk mengisi kapasitor dengan tegangan dan kapasitas yang tinggi. Dalam perancangan konverter flyback dilakukan terlebih dahulu penentuan parameter – parameter yang akan digunakan. TABEL I merupakan parameter pada konverter flyback yang digunakan.

TABEL I: PARAMETER KONVERTER FLYBACK

Spesifikasi	Nilai
Tegangan masukan (V_{in})	15 V
Tegangan keluaran (V_{out})	400 V
Arus masukan maksimal (I_{in})	8 A
Frekuensi <i>switching</i> (F_{sw})	32 KHz
Efisiensi (η)	$\pm 85 \%$

Dari parameter yang telah ditentukan pada TABEL I maka dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan komponen yang akan digunakan. Berikut merupakan perhitungan komponen konverter flyback:

1. Menghitung *duty cycle*

Untuk mencari nilai *duty cycle* yang akan digunakan dapat digunakan persamaan 2 berikut:

$$D = \frac{V_{out} + V_D}{V_{IN} + V_{out} + V_D} \tag{2}$$

$$D_{max} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{IN(min)} + V_{out} + V_D} = \frac{400 + 0,5}{13,5 + 400 + 0,5} = 0,97 = 97\%$$

$$D_{min} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{IN(max)} + V_{out} + V_D} = \frac{400 + 0,5}{15 + 400 + 0,5} = 0,96 = 96\%$$

2. Menghitung Daya Masukan (P_{in}) dan Keluaran (P_{out})

Untuk mendapatkan nilai P_{in} dapat digunakan persamaan 3 dan nilai P_{out} dapat digunakan persamaan 4 berikut:

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in} \tag{3}$$

$$P_{in} = 15 \times 8 = 120 W$$

$$P_{out} = P_{in} \times \eta \tag{4}$$

$$P_{out} = 120 \times 85\% = 102 W$$

3. Menghitung Arus keluaran (I_{out})

Nilai I_{out} dapat dicari dengan persamaan 5 berikut:

$$I_{out} = \frac{P_{out}}{V_{out}} \tag{5}$$

$$I_{out} = \frac{102}{400} = 0,255 A$$

4. Menghitung Waktu Periode On (T_{on})

Nilai T_{on} dapat dihitung menggunakan persamaan 6 berikut:

$$T_{on} = \frac{D}{F_s} \tag{6}$$

$$T_{on} = \frac{0,96}{32 KHz} = 3 \times 10^{-5} s$$

5. Menentukan Jumlah Lilitan Primer (N_p) dan Sekunder (N_s)



Untuk menghitung Jumlah lilitan primer dan lilitan sekunder dapat dilakukan terlebih dahulu dengan menghitung nilai Rasio Lilitan (N_{ps}) pada persamaan 7 berikut:

$$N_{ps} = \frac{V_{in} \times T_{on}}{\left(\frac{1}{F_{sw}} - T_{on}\right) \times (V_{out} + V_D)} \quad (7)$$

$$N_{ps} = \frac{15 \times (3 \times 10^{-5})}{\left(\frac{1}{32KHz} - (3 \times 10^{-5})\right) \times (400 + 0,5)} = 0,89$$

Untuk menghitung induktansi magnetisasi *primary* pada flyback transformer (L_m) dapat digunakan persamaan 8 berikut:

$$L_m = \frac{V_{in} \times D \times (1 - D) \times N_{ps}}{2 \times F_{sw} \times I_{out}} \quad (8)$$

$$L_m = \frac{15 \times 0,96 \times (1 - 0,96) \times 0,89}{2 \times 32KHz \times 0,255} = 3,14 \times 10^{-5} H = 31,4 \mu H$$

Untuk menghitung arus magnetisasi puncak maksimum (I_{m_max}) dapat digunakan persamaan 9 berikut:

$$I_{m_max} = \sqrt{\frac{2 \times P_{out_max}}{L_m \times f_{sw} \times \eta}} \quad (9)$$

$$I_{m_max} = \sqrt{\frac{2 \times (102 \times 120\%)}{31,4 \mu H \times 32KHz \times 0,85}} = 16,9 A$$

Transformator yang digunakan pada rangkaian konverter flyback ini yaitu berjenis ferit EE25. Pada trafo ferit ini nilai kerapatan fluks magnet (B) sebesar 200 mT dan nilai luas lubang tengah (AE) sebesar 44,5 mm² dengan diameter tembaga yang digunakan yaitu sebesar 1 mm. Untuk mencari jumlah lilitan primer (N_p) dapat digunakan persamaan 10 berikut:

$$N_p = \frac{L_m \times I_{m_max}}{B \times AE} \quad (10)$$

$$N_p = \frac{31,4 \mu H \times 16,9}{200 mT \times 44,5 mm^2} = 5 \text{ lilitan}$$

Untuk menghitung jumlah lilitan sekunder (N_s) dapat digunakan persamaan 11 berikut:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \quad (11)$$

$$\frac{5}{N_s} = \frac{15}{400}$$

$$N_s = 133 \text{ lilitan}$$

6. Menentukan Kapasitor *output* (C_o)

Untuk mencari nilai kapasitor *output* dapat dilakukan terlebih dahulu dengan mencari arus puncak sekunder tertinggi pada beban penuh (I_{sec_peak}) pada persamaan 12 dan perkiraan ESR maksimum dari kapasitor keluaran ($Resr$) dapat dicari menggunakan persamaan 13 berdasarkan V_{rp} . Dimana tegangan ripple (V_{rp}) diasumsikan yaitu 1 %.

$$I_{sec_peak} = N_{ps} \sqrt{\frac{2 \times P_{out}}{L_m \times f_{sw} \times \eta}} \quad (12)$$

$$I_{sec_peak} = 0,89 \sqrt{\frac{2 \times 102}{16,9 \times 32KHz \times 0,85}} = 0,0187 A$$

$$Resr = \frac{V_{rp}}{I_{sec_peak}} \quad (13)$$

$$Resr = \frac{0,1}{0,0187} = 5,3 \Omega$$

Sehingga nilai kapasitor *output* dapat dihitung menggunakan persamaan 14 berikut:

$$C_o \geq \frac{I_o \times (1 - D)}{(V_{rp} - I_{sec_peak} \times 90\% \times Resr) \times f_{sw}} \quad (14)$$

$$C_o \geq \frac{0,255 \times (1 - 0,96)}{(0,1 - 0,0187 \times 90\% \times 5,3) \times 32KHz} = 29,5 \mu F$$

7. Menentukan Dioda

Tegangan reverse minimum keluaran diode yang harus ditahan selama kondisi T_{on} dapat dihitung dengan persamaan 15 berikut:

$$V_{sr} = V_{out} + \frac{V_{in}}{N_{ps}} \quad (15)$$



$$V_{sr} = 400 + \frac{15}{0,89} = 416 V$$

2.4 Perancangan Pengisian Kapasitor

Dengan kapasitansi kapasitor yang digunakan yaitu sebesar 4700 μF dan konstantan waktu pengisian kapasitor (τ) 9.5 s, maka untuk mencari nilai resistansi yang digunakan pada saat kapasitor penuh (400V) yaitu dapat menggunakan persamaan 16 berikut:

$$\tau = 5RC \tag{16}$$

$$9.5 s = 5 \times R \times 4700 \mu F$$

$$R = 404,25 = 430 \Omega$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya sehingga dapat dicari tegangan pada kapasitor dengan persamaan 17 berikut:

$$V_c = V_s(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \tag{17}$$

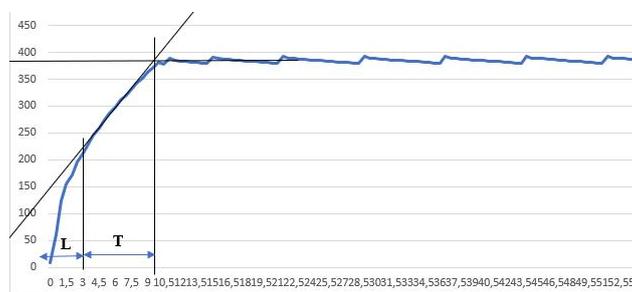
$$V_c = 400 (1 - e^{-\frac{9,5}{430 \times 4700 \mu F}}) = 396,3 V$$

2.5 Perancangan PID Tegangan

Perancangan kontrol PID pada tegangan juga terdiri dari tiga parameter, yaitu konstanta proporsional, integral, dan derivatif. Kontrol PID akan diimplementasikan dalam Arduino menggunakan kode program. Untuk mendapatkan ketiga nilai parameter kontrol PID pada tegangan, digunakan metode Ziegler-Nichols 1. Pada metode ini digunakan kurva reaksi yang kemudian dapat dicari nilai L (waktu tunda) dan nilai T (konstanta waktu) yang didapatkan dengan menarik garis singgung pada kurva. Untuk mencari nilai Kp, Ti, Td dengan metode ziegler- nichlos 1 menggunakan rumus seperti TABEL II. TABEL II merupakan tabel Ziegler – Nichols 1. Gambar 3 Merupakan karakteristik dari plant sistem tanpa controller.

TABEL II: ZIEGLER – NICHOLS 1

Pengendali	Kp	Ti	Td
P	T/L	~	0
PI	0,9 T/L	L/0,3	0
PID	1,2 T/L	2L	0,5L



Gambar 3: Grafik Respon Sistem Tanpa Controller

Setelah mendapatkan grafik respon sistem tanpa controller seperti Gambar 3, kemudian dapat dicari nilai L dan T sebagai berikut:

$$L = 3 s$$

$$T = 9,5 - L = 6,5 s$$

Setelah mendapatkan nilai L dan T maka untuk mendapatkan Nilai Kp, Ki dan Kd sesuai dengan rumus pada tabel II, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$1. Kp = 1,2 \frac{T}{L} = 2,6$$

$$2. Ti = 2L = 6$$

$$Ki = \frac{Kp}{Ti} = 0,4$$

$$3. Td = 0,5L = 1,5$$

$$Kd = Kp \times Td = 3,9$$



Hasil nilai K_p , K_i , dan K_d setelah dihitung dengan metode *Ziegler-nichols* 1 adalah $K_p = 2,6$, $K_i = 0,4$, $K_d = 3,9$. Nilai parameter tersebut akan dimasukkan kedalam program mikrokontroler yang akan digunakan untuk mengatur *duty cycle* yang digunakan untuk mengatur tegangan keluaran konverter flyback.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian pembagi tegangan bertujuan untuk mengetahui apakah V_{out} maksimum yang dihasilkan mencapai 5V, karena nilai tegangan yang dapat diterima oleh ADC mikrokontroler yaitu 5V. Setelah menyelesaikan pengujian sensor tegangan, hasil data - data yang diperoleh ditunjukkan pada TABEL III. TABEL III merupakan hasil dari pengujian sensor tegangan.

TABEL III: PENGUJIAN SENSOR TEGANGAN

Vin (volt)	Output Sensor Tegangan (volt)		Selisih	Error (%)
	LCD	Voltmeter		
50	45	50	5	10
100	97	100	3	3
150	147	150	3	2
200	198	200	2	1
250	248	250	2	0,8
300	298	300	2	0,6
350	348	350	2	0,6
380	378	380	2	0,5
Rata - rata error				2,3

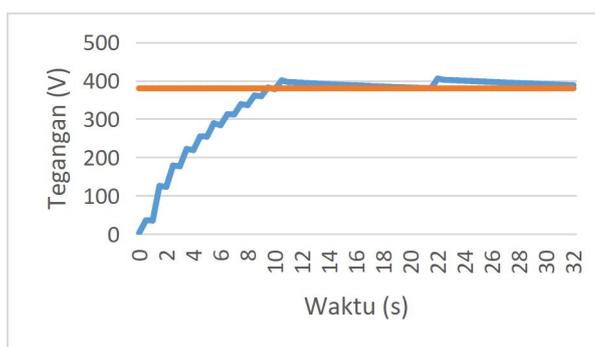
TABEL III menunjukkan bahwa hasil yang ditampilkan LCD terdapat hasil tidak sama dengan hasil dari pengukuran menggunakan voltmeter pada saat tegangan rendah, karena didapatkan hasil rata - rata *error* sebesar 2,3%. Hal ini masih bisa digunakan dikarenakan *error* masih dalam rentang yang wajar. Jadi dapat disimpulkan sensor tegangan yang menggunakan rangkaian pembagi tegangan dapat bekerja dengan baik.

3.2 Pengujian Kontrol PID

Pengujian kontrol tegangan dilakukan dengan beban kapasitor 4700 uF / 450V pada *setpoint* yaitu 380V.

1. Pengujian PID Tanpa Beban dengan $K_p = 2,6$, $K_i = 0,4$, $K_d = 3,9$

Pada pengujian kontrol ini menggunakan hasil perhitungan PID metode *ziegler nichols* 1, dengan memasukkan nilai parameter PID $K_p = 2,6$, $K_i = 0,4$, $K_d = 3,9$ sehingga menghasilkan grafik seperti Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4: Respon Sistem Setelah Tuning PID Ziegler- Nichols 1

2. Pengujian PI Tanpa Beban dengan $K_p = 1,95$, $K_i = 0,195$

Berdasarkan Gambar 4 respon sistem yang dihasilkan dengan kontrol PID tidak stabil sehingga dilakukan pengujian kontrol dengan menggunakan hasil perhitungan PI metode *ziegler nichols* 1 untuk mendapatkan respon sistem yang lebih baik. dengan



nilai $L = 3$ dan $T = 6,5$ maka untuk mendapatkan Nilai K_p dan K_i sesuai dengan rumus pada TABEL II, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

- $K_p = 0,9 \frac{T}{L} = 1,95$
- $T_i = \frac{L}{0,3} = 10$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = 0,195$$

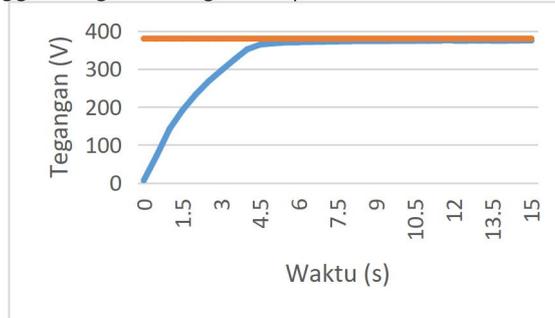
Dengan memasukkan nilai parameter $K_p = 1,95$ dan $K_i = 0,195$ sehingga menghasilkan grafik seperti Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5: Respon Sistem Setelah Tuning PI Ziegler- Nichols 1

3. Pengujian PI Tanpa Beban dengan $K_p = 4,2$, $K_i = 0,4$

Gambar 5 menunjukkan respon sistem yang dihasilkan masih kurang baik dengan tegangan maksimal yang dapat dicapai yaitu sebesar 367V yang masih jauh dari *setpoint* dan memiliki nilai E_{ss} sebesar $-0,04\%$. Sehingga dilakukan pengujian kontrol PI dengan menggunakan metode *trial and error* untuk memperoleh respon sistem yang lebih baik. dengan memasukkan nilai parameter $K_p = 4,2$ dan $K_i = 0,4$ sehingga menghasilkan grafik seperti Gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6: Respon Sistem Setelah Tuning PI Trial and Error

Berdasarkan ketiga pengujian respon sistem tanpa beban dengan parameter berbeda yang telah dilakukan, dapat dilihat perbedaan hasil respon sistem yang ditunjukkan pada TABEL IV.

TABEL IV: PERBEDAAN HASIL RESPON KONTROLLER

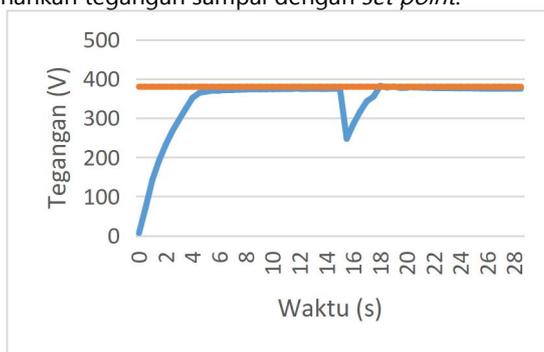
Kontroller	Respon Sistem					
	Time delay(s)	Error steady state(%)	Rise time(s)	Peak time(s)	Settling time(s)	Overshoot (%)
PID ($K_p = 2,6$ $K_i = 0,4$ $K_d = 3,9$)	3	0,02	7	10,5	0,5	1,06
PI ($K_p = 1,95$ $K_i = 0,195$)	1,5	-0,04	3,5	13,5	0,5	0,96
PI ($K_p = 4,2$ $K_i = 0,4$)	1,5	-0,01	3,5	11,5	0,5	0,98

4. Pengujian PI dengan Beban

Pengujian ini dilakukan pada saat pengisian kapasitor dengan adanya gangguan berupa rangkaian penendang yang bekerja pada *setpoint* yang sama yaitu 380V. dengan memasukkan nilai parameter $K_p = 4,2$ dan $K_i = 0,4$ yang diperoleh dari hasil pengujian dengan hasil respon yang terbaik yaitu pada pengujian kontrol PI menggunakan metode *trial and error*. Gambar 7



menunjukkan bahwa saat konverter flyback yang telah diberikan kontrol PI, mula-mula tanpa beban berusaha mempertahankan *setpoint*. Akan tetapi setelah diberikan gangguan hasil yang didapatkan yaitu respon mendapatkan tekanan turun. Setelah itu, PI berusaha menaikkan dan mempertahankan tegangan sampai dengan *set point*.



Gambar 7: Grafik Respon Sistem dengan Beban

3.3 Pengujian Konverter Flyback Tipe Boost

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil keluaran yang dihasilkan oleh konverter flyback tipe boost. Pengujian dilakukan dengan cara melihat arus *input output* dan Tegangan *output* yang dihasilkan dari tegangan *input* yang berbeda. Hasil pengujian konverter flyback tipe boost tanpa beban ditunjukkan pada TABEL V.

TABEL V: HASIL PENGUJIAN KONVERTER FLYBACK TIPE BOOST TANPA BEBAN

Tegangan Input (V)	Arus Input (A)	Daya Input (W)	Tegangan Output (V)	Arus Output (A)	Daya Output (W)
13.5	3.3	44.55	320	1.11	355,2
14	2.8	39.2	380	1.2	456
14.5	2.7	39.15	380	1.13	429.4
15	2.4	36	380	1.2	456

Dilihat dari hasil pengujian konverter flyback tipe boost tanpa beban pada TABEL V diperoleh hasil tegangan output yang cenderung sama meskipun tegangan inputnya berbeda. Serta arus output yang stabil di 1A. Hasil pengujian konverter flyback tipe boost dengan beban ditunjukkan pada TABEL VI.

TABEL VI: HASIL PENGUJIAN KONVERTER FLYBACK TIPE BOOST DENGAN BEBAN

Tegangan Input (V)	Arus Input (A)	Daya Input (W)	Tegangan Output (V)	Arus Output (A)	Daya Output (W)
13,5	3,3	44,5	320	2,8	896
14	3,4	47,6	380	2,5	950
14,5	3,6	52,2	380	2,3	874
15	2,9	43,5	380	2,6	988

Dilihat dari hasil pengujian konverter flyback tipe boost dengan beban pada TABEL VI didapatkan tegangan *output drop* pada saat kondisi tegangan *input* 13,5 V. Daya *input* dan daya *output* yang digunakan tergantung pada nilai arus *input* dan arus *output* yang digunakan. Pada perhitungan arus *input* yang digunakan yaitu arus *input* maksimal pada baterai yaitu sebesar 8A. Sedangkan pada pengujian rangkaian arus input maksimal yaitu sebesar 3A, hal ini terjadi karena adanya beberapa faktor yang memengaruhi kinerja dan respons rangkaian. Dan juga dikarenakan sifat arus yang menyesuaikan kebutuhan rangkaian yang digunakan. Begitu juga dengan arus *output* yang digunakan, yaitu pada perhitungan sebesar 0,255A, sedangkan pada pengujian rangkaian tanpa beban 1A sedangkan dengan beban 2A. Jadi dapat disimpulkan bahwa pada pengujian ini rangkaian mengalami kerugian daya *input* maupun *output* yang disebabkan beberapa faktor seperti kondisi komponen, frekuensi yang digunakan, efisiensi transistor, dan lain sebagainya



3.4 Pengujian Konverter untuk Charging Kapasitor

Pengujian konverter untuk mengisi kapasitor dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kelayakan konverter flyback tipe boost dalam pengisian kapasitor. Hasil data dari pengujian pengisian kapasitor ditunjukkan dalam TABEL VI. Pada TABEL VII menunjukkan bahwa untuk mencapai tegangan 380V dalam proses pengisian kapasitor waktu yang dibutuhkan yaitu sebesar 9,5 detik.

TABEL VII: HASIL PENGUJIAN KONVERTER UNTUK CHARGING KAPASITOR DENGAN VIN 15 V

Vout (volt)	Waktu (sekon)
50	0,4
100	0,8
150	1,1
200	1,6
250	2,4
300	3,4
350	4
380	9,5

3.5 Pengujian Penggunaan Arus pada Saat Proses Pengisian Kapasitor

Hasil pengujian penggunaan arus pada saat proses pengisian kapasitor dengan Vin 15V ditunjukkan pada TABEL VIII. Berdasarkan TABEL VIII dari hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa arus *output* turun seiring dengan naiknya tegangan *output*.

TABEL VIII: HASIL PENGUJIAN PENGGUNAAN ARUS PADA SAAT PROSES PENGISIAN KAPASITOR DENGAN VIN 15V

Vout (volt)	Arus Output (ampere)
50	5,6
100	5,5
150	5,1
200	4,7
250	4,6
300	3,3
350	2,1

4. KESIMPULAN

Dari pembahasan yang telah diuraikan pada bab – bab sebelumnya, dapat disimpulkan yaitu:

1. Rangkaian konverter flyback yang dirancang dapat mengontrol tegangan *output* pada kapasitor saat penendang bekerja yaitu pada saat tegangan kapasitor berkurang karena penendang bekerja, tegangan *output full* kapasitor dapat kembali dengan waktu 9,5 detik dari tegangan 0V ke 380V.
2. Pada pengujian *charge* kapasitor diperoleh yaitu pada saat mencapai tegangan 380V waktu yang dibutuhkan untuk kapasitor *charging* yaitu sebesar 9,5 detik.
3. Rangkaian konverter flyback yang dirancang dengan metode kontrol PI dapat bekerja dengan baik yaitu mampu menstabilkan tegangan *output full* kapasitor di 380V, dengan *overshoot* tegangan sebesar 0,96%.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada orang tua saya yang telah memberikan do'a dan dukungan,

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. S. Wijaya, F. Faizah, dan S. Julaihah, "PENGISI DAYA BATERAI OTOMATIS BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN BUCK BOOST CONVERTER PADA PENGGUNAAN DAYA AC DENGAN MENGGUNAKAN SOLAR CELL 20W," dalam *Prosiding SNITP (Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan)*, 2022.
- [2] M. Sanggola, C. Mamahit, dan F. Seke, "Pengembangan Sistem Gerak Robot Berkaki Enam," *JURNAL EDUNITRO Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 2, no. 1, hlm. 53–60, 2022.
- [3] H. Aprilianto dan M. I. Perdana, "Mekanika Penendang dan Penangkap Bola Berbasis Mikrokontroler Pada Robot Bola Beroda," *Jutisi: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 7, no. 2, hlm. 119–126, 2018.
- [4] F. G. Ohoirat, A. S. M. Lumenta, J. Litouw, dan R. F. Robot, "Rancang Bangun Sistem Mekanik Penggiring Dan Penendang Pada Robot Sepak Bola," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 8, no. 3, hlm. 171–180, 2019.



- [5] M. S. Serafim, "Ball Handling Mechanism for Mobile Robots," *Institut o SuperiorTécnico, Master (Electrical and Computer Engineering)*, 2013.
- [6] D. Hasbiallyh, S. Siregar, dan M. I. Sani, "Implementation of high-voltage kicker system for 'ROSTU' middle-size league robot soccer," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 10, no. 6, hlm. 3064–3071, 2021.
- [7] I. Siradjuddin, S. Wibowo, F. Ronilaya, E. Rohadi, I. A. Wicaksono, dan R. I. Putri, "Pemodelan dan simulasi boost converter menggunakan Python," *JURNAL ELTEK*, vol. 19, no. 1, hlm. 26–34, 2021.
- [8] A. Syamsul, "PRODUKSI RANGKAIAN PENGOPTIMALAN PENGISIAN BATERAI LITHIUM ION 48 VOLT 20 AMPERE PADA KENDARAAN LISTRIK DARI PEMBANGKIT TENAGA SURYA DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM BOOST CONVERTER," 2023.
- [9] K. A. Mulani, R. J. Kadam, dan S. H. Pawar, "Comparison between conventional fly-back and interleaved fly-back converter for standalone PV application," dalam *2018 International Conference on Current Trends towards Converging Technologies (ICCTCT)*, IEEE, 2018, hlm. 1–5.
- [10] A. A. Setyawan, M. Z. Efendi, dan S. Suryono, "Uninterruptible Power Supply menggunakan flyback converter sebagai PFC Converter," *EEPIS Final Project*, 2011.

