

PERANCANGAN KONVERTER ARUS SEARAH TIPE *FLYBACK* SEBAGAI CATU DAYA RANGKAIAN *DRIVER* DAN *MICROCONTROLLER* PADA KONVERTER TIPE *ZETA*

Gilang Cahyo Nugroho^{*)}, Trias Andromeda, and Yuli Christyono

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: gilang.cahyon@gmail.com

Abstrak

Hampir semua catu daya modern bekerja dalam mode switching atau dikenal sebagai SMPS (Switched Mode Power Supply), salah satu dari topologi yang dipakai adalah konverter arus searah tipe Flyback. Penambahan kontrol umpan balik tegangan dapat digunakan untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran konverter arus searah. Pada penelitian ini akan direalisasikan sebuah konverter arus searah tipe Flyback dengan umpan balik tegangan yang menghasilkan tegangan keluaran sebesar 15V dan 9V untuk menyuplai rangkaian driver dan microcontroller pada konverter tipe Zeta dalam sistem Hybrid Charger Controller. Kontrol PWM pada penelitian ini menggunakan IC TL494. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian konverter dengan umpan balik tegangan menggunakan variasi beban resistif. Hasil pengujian konverter dengan umpan balik tegangan pada sisi keluaran 9V diperoleh tegangan keluaran tetap terjaga sebesar 9V ketika diberi variasi beban resistif 330 Ω sampai 47 Ω . Namun pada sisi keluaran 15V terdapat penurunan tegangan dari 14,83V dengan beban 330 Ω ke 14,57V dengan beban 47 Ω karena pada sisi keluaran 15V hanya menyesuaikan perubahan duty cycle dari sisi keluaran 9V. Dengan penambahan kontrol umpan balik tegangan pada konverter arus searah tipe Flyback menghasilkan nilai tegangan keluaran yang lebih stabil dengan adanya perubahan nilai beban.

Kata kunci: Konverter arus searah tipe Flyback, IC TL494, umpan balik tegangan

Abstract

Almost all modern power supplies work in switching mode or known as SMPS (Switched Mode Power Supply), one of the topologies used is a Flyback converter. The addition of voltage feedback control can be used to maintain stable voltage of converter output. In this research will be realized a Flyback converter with voltage feedback that produces output voltage of 15V and 9V to supply driver and microcontroller circuit on the Zeta converter in Hybrid Charger Controller system. The PWM control of this research uses IC TL494. In this research, tested the converter with voltage feedback using resistive load variation. The result of converter test with voltage feedback at output side 9V obtained output voltage is maintained at 9V when given resistive load variation of 330 Ω to 47 Ω . But on the output side of 15V there is a voltage drop from 14.83V with a load of 330 Ω to 14.57V with a 47 Ω load because on the output side 15V only adjusts the duty cycle change from the output side of 9V. With the addition of voltage feedback control on the Flyback converter produces a more stable output voltage value with the change of load value.

Keywords: Flyback converter, IC TL494, voltage feedback

1. Pendahuluan

Sistem catu daya yang bekerja dalam mode pensaklaran (*switching*) mempunyai efisiensi lebih tinggi dibanding sistem catu daya linier. Oleh karena itu, hampir semua catu daya modern bekerja dalam mode *switching* atau dikenal sebagai SMPS (*Switched Mode Power Supply*). Konverter arus searah tipe *Flyback* merupakan konverter yang memiliki isolasi di antara masukan dan keluarannya. Ketika MOSFET dalam kondisi *on*, tegangan sumber akan mengalir melewati induktansi magnetik trafo (L_m) dan menyebabkan arus induktansi magnetik (i_{Lm}) naik secara

linier dan dioda di bagian output bersifat *reverse bias*. Ketika MOSFET dalam kondisi *off*, energi yang tersimpan di dalam induktansi magnetik akan disalurkan melalui kumparan trafo dan dioda pada bagian output bersifat *forward bias* sehingga arus dapat disalurkan ke beban [1]. Penelitian mengenai konverter arus searah tipe *Flyback* dengan beragam tegangan keluaran pernah dilakukan oleh Yogi Sawitra [2]. Pada penelitian tersebut dibahas mengenai konverter arus searah tipe *Flyback* yang dirancang untuk menghasilkan tegangan keluaran 3,3V; 5V; dan 12V. Penelitian lain yang dilakukan oleh Argianka Satrio Putra [3] membahas mengenai perancangan

konverter arus searah tipe *Push-Pull* dengan umpan balik tegangan menggunakan IC TL494. Pada penelitian oleh Eko Satrio Wardanu Prakoso [4] membahas mengenai perancangan konverter arus searah tipe *Zeta* dengan umpan balik tegangan menggunakan IC TL494. Sedangkan penelitian oleh Lukman Wira Cahyadi [5] membahas mengenai kinerja konverter arus searah tipe *Buck Converter* dengan umpan balik tegangan berbasis TL494.

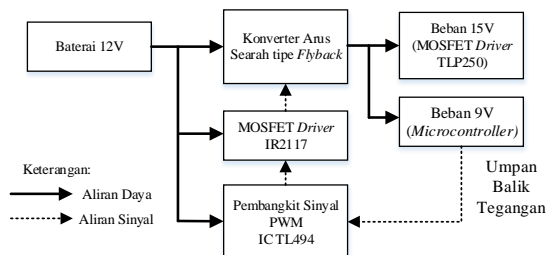
Pada penelitian ini akan direalisasikan sebuah konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan menggunakan IC TL494 yang menghasilkan tegangan keluaran sebesar 15V dan 9V untuk menyuplai rangkaian *driver* dan *microcontroller* pada konverter tipe *Zeta* dalam sistem *Hybrid Charger Controller*.

Adapun tujuan utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan konverter arus searah tipe *Flyback* sebagai catu daya rangkaian *driver* dan *microcontroller* pada konverter tipe *Zeta* dalam sistem *Hybrid Charger Controller*.
2. Menganalisis pengaruh kontrol umpan balik tegangan pada lebar pulsa PWM yang dihasilkan oleh IC TL494.
3. Menganalisis pengaruh umpan balik tegangan berbasis IC TL494 pada tegangan keluaran konverter arus searah tipe *Flyback*.

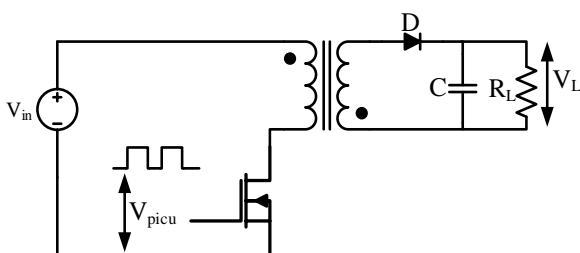
2. Metode

Pembagian blok pada penelitian ini terdiri dari rangkaian konverter *Flyback*, rangkaian MOSFET *driver*, dan rangkaian pembangkit sinyal PWM.



Gambar 1. Diagram Blok Alat Secara Keseluruhan

2.1. Konverter Arus Searah tipe *Flyback*



Gambar 2. Rangkaian Konverter Arus Searah Tipe *Flyback*

Rangkaian konverter arus searah tipe *Flyback* pada penelitian ini terdiri dari komponen-komponen berikut:

1. Sumber Tegangan DC (V_{in})
Sumber tegangan yang digunakan sebagai suplai daya konverter berasal dari baterai 12V berkapasitas 7,2Ah.
2. Saklar
Komponen pensaklaran yang digunakan pada konverter tersebut adalah MOSFET. MOSFET yang digunakan adalah IRF540N yang mampu menahan tegangan hingga 100V [6].
3. Transformator
Transformator pada penelitian ini digunakan untuk mengubah tingkat tegangan keluaran konverter arus searah tipe *Flyback*. Parameter tegangan masukan yang diharapkan bernilai 12V dan tegangan keluaran yang diharapkan bernilai 15V dan 9V. Sehingga diperoleh 4 lilitan pada sisi primer, 6 lilitan pada sisi sekunder 15V, dan 3 lilitan pada sisi sekunder 9V.
4. Dioda Penyearah
Dioda penyearah pada konverter arus searah tipe *Flyback* digunakan untuk menyearahkan tegangan keluaran pada sisi sekunder transformator. Dioda yang digunakan yaitu SR5100 pada masing-masing sisi tegangan keluaran konverter arus searah tipe *Flyback*. Dioda SR5100 merupakan dioda *schottky* yang memiliki kemampuan menghantarkan arus sampai 5A dan tegangan sebesar 100V [7].
5. Tapis Kapasitor
Tapis kapasitor berfungsi untuk mengurangi riak hasil dari penyearahan oleh dioda. Nilai kapasitor yang digunakan pada rancangan konverter arus searah tipe *Flyback* ini adalah 220 μ F/50V merek Rubycon [8] pada masing-masing sisi tegangan keluaran 15V dan 9V.

2.2. Rangkaian Kontrol PWM IC TL494 dengan Umpan Balik Tegangan

Pada penelitian ini, sinyal PWM dihasilkan oleh IC TL494. IC TL494 dapat digunakan untuk kontrol umpan balik tegangan konverter arus searah tipe *Flyback*. Frekuensi PWM keluaran IC TL494 (f_{osc}) diatur oleh dua komponen *resistor timer* (R_T) dan *capacitor timer* (C_T) [9].

$$f_{osc} = \frac{1}{R_T \cdot C_T} \quad (1)$$

$$f_{osc(max)} = \frac{1}{20000 \times 1 \times 10^{-9}} = 50000 \text{ Hz } (R_{VAR} = 0\Omega)$$

$$f_{osc(max)} = \frac{1}{70000 \times 1 \times 10^{-9}} = 14285 \text{ Hz } (R_{VAR} = 50k\Omega)$$

Pada perhitungan di atas, frekuensi *switching* rangkaian kontrol IC TL494 dapat diatur dengan *range* sebesar 14285 Hz – 50000 Hz. Pada perancangan rangkaian kontrol PWM

ini, diterapkan frekuensi *switching* sebesar 25 kHz, frekuensi ini diperoleh dari pengaturan R_{VAR} .

Umpan balik tegangan digunakan untuk memonitor tegangan yang berfungsi menyesuaikan tegangan keluaran konverter dengan tegangan referensi pada pin 2 (*inverting*). Diketahui tegangan referensi *error amplifier* (V_{ref}) sebesar 5V, maka perhitungan resistor R_1 dan R_2 sebagai berikut.

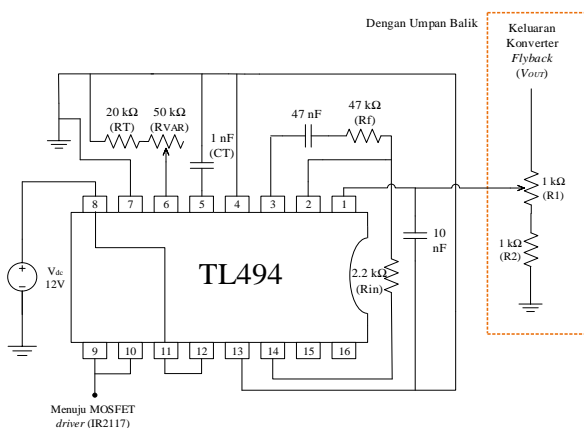
$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (2)$$

$$9 = 5 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$R_1 = 0,8R_2$$

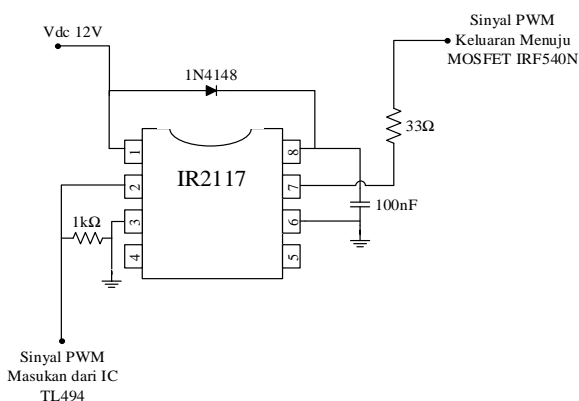
$$R_2 = 1,25R_1$$

Pada perhitungan di atas, dibutuhkan nilai R_1 sebesar 0,8 kali R_2 . Potensiometer 1k Ω yang diatur sebesar 800 Ω digunakan untuk merealisasikan R_1 , maka nilai R_2 sebesar 1k Ω . Potensiometer 10 k Ω dapat digunakan untuk mengatur skala tegangan keluaran untuk memvariasikan tegangan masukan pin 1 IC TL494.



Gambar 3. Rangkaian Kontrol PWM IC TL494 dengan Umpan Balik Tegangan

2.3. Rangkaian MOSFET Driver IR2117



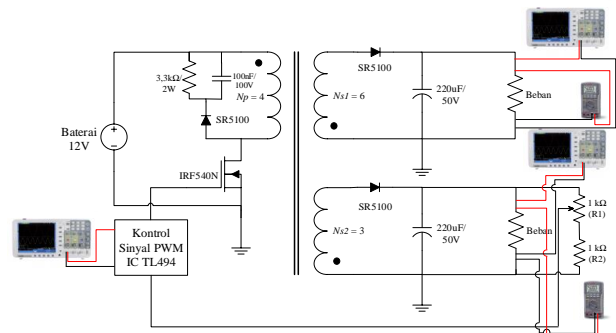
Gambar 4. Rangkaian MOSFET Driver IR2117

Gambar 4. di atas merupakan rangkaian MOSFET driver IR2117 yang digunakan sebagai penguat sinyal keluaran dari rangkaian kontrol PWM IC TL494. Mode sinyal keluaran dari IC TL494 adalah *single-ended operation*. Pada mode tersebut, IC TL494 menghasilkan satu keluaran gelombang PWM.

Pada Gambar 4., driver mendapat suplai tegangan DC yang berasal dari baterai 12V. Terdapat kapasitor 100nF yang menghubungkan pin 8 dan pin 6. Kapasitor ini adalah kapasitor *decoupling*, kapasitor ini dipasang agar meminimalisir *noise* tegangan suplai IC [10]. Terdapat dioda 1N4148 yang terhubung pada pin 1 dan pin 8 untuk mencegah adanya arus negatif dari sisi logika keluaran driver yang terhubung dengan MOSFET menuju sisi suplai tegangan. Resistor 1k Ω yang menghubungkan pin 2 dan *ground* berfungsi sebagai resistor *pull down*, sementara resistor 33 Ω yang terhubung pin 7 menuju *gate* MOSFET berfungsi sebagai pembatas arus sinyal keluaran IR2117.

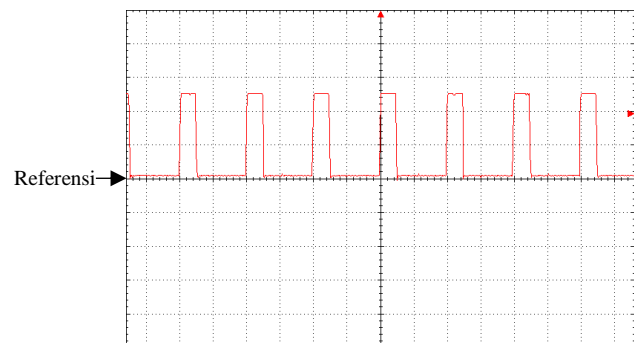
3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengujian Konverter Arus Searah Tipe Flyback dengan Umpan Balik Tegangan



Gambar 5. Pengujian Konverter Arus Searah Tipe Flyback dengan Umpan Balik Tegangan

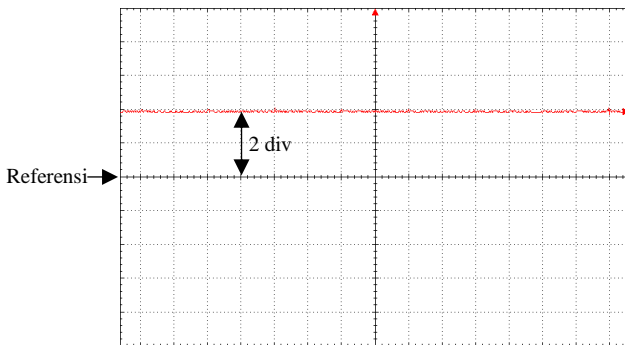
Pengujian dilakukan dengan mengambil data dari beban 330 Ω hingga 47 Ω . Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh umpan balik tegangan terhadap perubahan beban.



Gambar 6. Gelombang Sinyal PWM ketika Dibebani Resistor 330 Ω . V/div = 5V, T/div = 20 μ s

Hasil pengamatan gelombang PWM keluaran IC TL494 saat konverter dibebani resistor 330Ω ditunjukkan Gambar 6. di atas.

Gambar 6. menunjukkan gelombang sinyal PWM ketika konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan dibebani resistor 330Ω. Osiloskop menunjukkan PWM yang dihasilkan memiliki *duty cycle* 24,2%. Besar keluaran *duty cycle* PWM tersebut merupakan hasil respon IC TL494 terhadap tegangan keluaran konverter ketika dibebani resistor 330Ω.

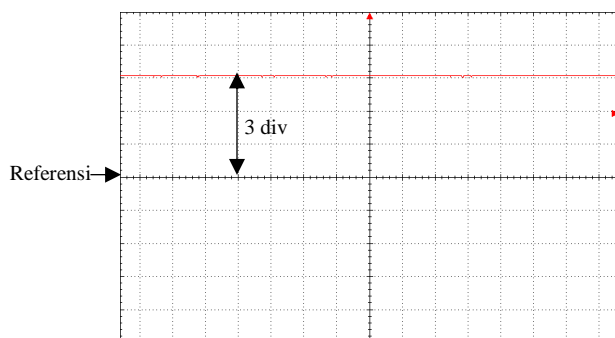


Gambar 7. Gelombang Tegangan Keluaran Sisi 9V dengan Beban Resistif 330Ω. V/div = 5V, T/div = 20 μs

Gambar 7. merupakan gelombang tegangan keluaran sisi 9V dari konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan dibebani resistor 330Ω. Pada Gambar 7., terlihat besarnya tegangan yaitu sebesar 2 div sehingga dapat dihitung besaran tegangan keluaran sebagai berikut.

$$V_{DC} = 2 \text{ div} \times 5 \text{ V/div} = 10 \text{ volt} \quad (3)$$

Untuk tegangan yang terbaca pada multimeter digital yaitu 9V, selisih nilai ini terjadi karena tingkat ketelitian antara osiloskop dan multimeter digital yang berbeda.



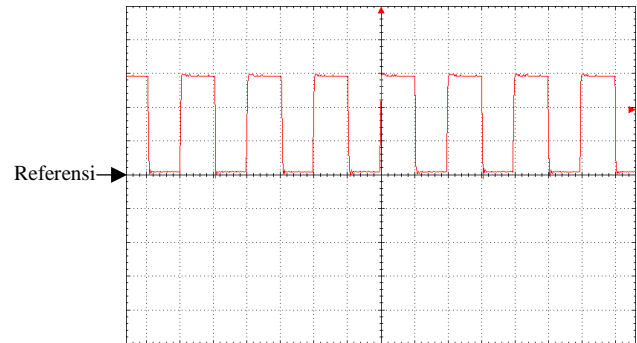
Gambar 8. Gelombang Tegangan Keluaran Sisi 15V dengan Beban Resistif 330Ω. V/div = 5V, T/div = 20 μs

Sedangkan untuk Gambar 8. merupakan gelombang tegangan keluaran sisi 15V dari konverter arus searah tipe *Flyback* yang dibebani resistor 330Ω. Pada gambar

tersebut terlihat besarnya tegangan yaitu sebesar 3 div sehingga dapat dihitung besaran tegangan keluaran sebagai berikut.

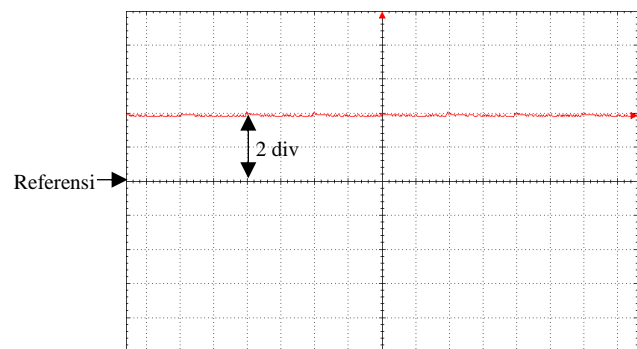
$$V_{DC} = 3 \text{ div} \times 5 \text{ V/div} = 15 \text{ volt}$$

Untuk tegangan yang terbaca pada multimeter digital yaitu 14,83V, selisih nilai ini terjadi karena tingkat ketelitian antara osiloskop dan multimeter digital yang berbeda.



Gambar 9. Gelombang Sinyal PWM ketika Dibebani Resistor 47Ω. V/div = 5V, T/div = 20 μs

Gambar 9. menunjukkan gelombang sinyal PWM ketika konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan dibebani resistor 47Ω. Osiloskop menunjukkan PWM yang dihasilkan memiliki *duty cycle* 52,5%. Besar keluaran *duty cycle* PWM tersebut merupakan hasil respon IC TL494 terhadap tegangan keluaran konverter ketika dibebani resistor 47Ω.

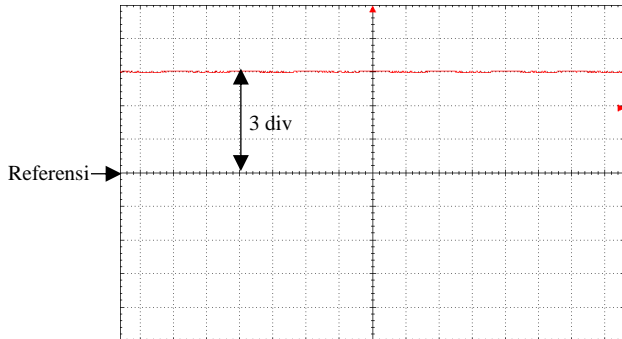


Gambar 10. Gelombang Tegangan Keluaran Sisi 9V dengan Beban Resistif 47Ω. V/div = 5V, T/div = 20 μs

Gambar 10. merupakan gelombang tegangan keluaran sisi 9V dari konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan dibebani resistor 330Ω. Pada Gambar 10., terlihat besarnya tegangan yaitu sebesar 2 div sehingga dapat dihitung besaran tegangan keluaran sebagai berikut.

$$V_{DC} = 2 \text{ div} \times 5 \text{ V/div} = 10 \text{ volt}$$

Untuk tegangan yang terbaca pada multimeter digital yaitu 9V, selisih nilai ini terjadi karena tingkat ketelitian antara osiloskop dan multimeter digital yang berbeda.



Gambar 11. Gelombang Tegangan Keluaran Sisi 15V dengan Beban Resistif 47Ω. V/div = 5V, T/div = 20 μs

Sedangkan untuk Gambar 11. merupakan gelombang tegangan keluaran sisi 15V dari konverter arus searah tipe *Flyback* yang dibebani resistor 47Ω. Pada gambar tersebut terlihat besarnya tegangan yaitu sebesar 3 div sehingga dapat dihitung besaran tegangan keluaran sebagai berikut.

$$V_{DC} = 3 \text{ div} \times 5 \text{ V/div} = 15 \text{ volt}$$

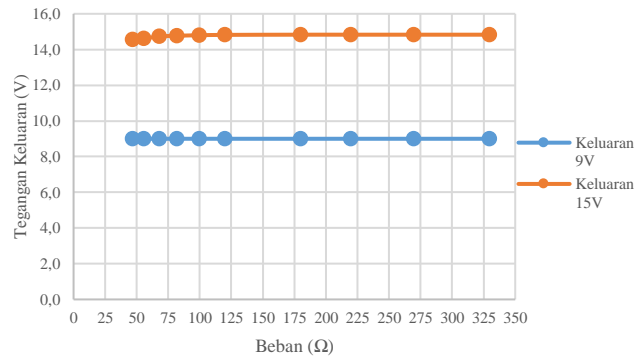
Untuk tegangan yang terbaca pada multimeter digital yaitu 14,57V, selisih nilai ini terjadi karena tingkat ketelitian antara osiloskop dan multimeter digital yang berbeda. Dengan memvariasikan beban resistif dari 330Ω sampai 47Ω maka dapat dibuat Tabel 1. sebagai berikut.

Tabel 1. Pengujian Konverter Arus Searah Tipe *Flyback* dengan Umpan Balik Tegangan

Beban (Ω)	Vin (V)	Iin (A)	Vout 9V (V)	Iout 9V (A)	Vout 15V (V)	Iout 15V (A)	Duty Cycle (%)
330	12,04	0,13	9,0	0,08	14,83	0,04	24,2
270	12,04	0,17	9,0	0,09	14,83	0,05	27,3
220	12,05	0,19	9,0	0,09	14,83	0,07	31,0
180	12,05	0,21	9,0	0,11	14,83	0,08	34,0
120	12,05	0,31	9,0	0,13	14,82	0,12	41,0
100	12,05	0,35	9,0	0,15	14,80	0,13	45,5
82	12,05	0,44	9,0	0,17	14,77	0,17	50,5
68	12,04	0,55	9,0	0,19	14,73	0,21	51,0
56	12,04	0,68	9,0	0,21	14,62	0,28	52,0
47	12,04	0,77	9,0	0,24	14,57	0,30	52,5

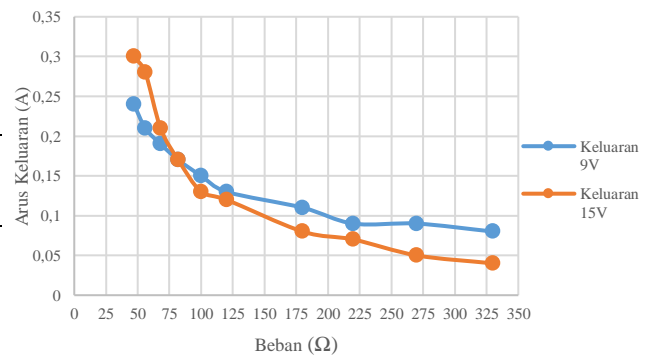
Tabel 1. menunjukkan nilai tegangan masukan, arus masukan, tegangan keluaran, arus keluaran, dan *duty cycle* dari pengujian konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan. Sedangkan Gambar 12.

menunjukkan grafik tegangan keluaran konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan terhadap beban resistif dan Gambar 13. menunjukkan grafik arus keluaran konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan terhadap beban resistif.



Gambar 12. Grafik Tegangan Keluaran Konverter Arus Searah Tipe *Flyback* dengan Umpan Balik Tegangan

Tabel 1. dan Gambar 12. menunjukkan tegangan keluaran dari konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan. Terlihat masih adanya perubahan nilai tegangan pada sisi keluaran 15V ketika penambahan nilai beban resistif. Penurunan tegangan ini disebabkan karena pada sisi keluaran 15V tidak mempengaruhi besar tegangan masukan pin 1 IC TL494 seperti yang dilakukan oleh sisi keluaran 9V. Hal tersebut menyebabkan pada sisi keluaran 15V hanya menyesuaikan perubahan *duty cycle* dari sisi keluaran 9V.



Gambar 13. Hubungan Variasi Beban Resistif dengan Arus Keluaran Konverter Arus Searah Tipe *Flyback* Menggunakan Umpan Balik Tegangan

Tabel 1. juga ditunjukkan pengaruh variasi beban resistif terhadap arus keluaran konverter arus searah tipe *Flyback*. Dapat dilihat pada Gambar 13. hubungan antara beban resistif dengan arus keluaran konverter arus searah tipe *Flyback* menggunakan umpan balik tegangan yaitu semakin besar nilai resistansi suatu beban maka arus keluaran semakin kecil, begitu juga sebaliknya apabila

nilai resistansi suatu beban semakin kecil maka arus keluaran yang dihasilkan semakin besar.

Pada Tabel 1. terlihat bahwa *duty cycle* ketika diberi beban 330Ω bernilai 24,2% dan mengalami perubahan pada beban 270Ω menjadi 27,3% dikarenakan konverter arus searah tipe *Flyback* menggunakan mode umpan balik tegangan. Pada saat beban berubah maka tegangan keluaran juga akan berubah dan mempengaruhi nilai tegangan masukan pin 1 IC TL494 sehingga keluaran *error amplifier* IC TL494 akan dibandingkan dengan gelombang gergaji pada komparator untuk mengeluarkan gelombang *duty cycle* yang lebih kecil atau lebih besar untuk mendapatkan tegangan keluaran konverter seperti yang ditetapkan.

Berdasarkan Tabel 1. dan Gambar 12. ketika konverter diberi beban resistif bernilai 330Ω tegangan keluarannya sebesar 9V untuk sisi keluaran 9V dan 14,83V untuk sisi keluaran 15V. Kemudian saat beban berubah menjadi 47Ω tegangan keluaran konverter di sisi keluaran 9V tetap stabil pada tegangan 9V namun pada sisi keluaran 15V menjadi 14,57V, terdapat penurunan tegangan pada sisi keluaran 15V sebesar 0,26V karena pada sisi keluaran 15V tidak mempengaruhi besar tegangan masukan pin 1 IC TL494 seperti yang dilakukan oleh sisi keluaran 9V. Hal tersebut menyebabkan pada sisi keluaran 15V hanya menyesuaikan perubahan *duty cycle* dari sisi keluaran 9V.

Penjelasan di atas menunjukkan hubungan antara beban resistif dengan tegangan keluaran konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik yaitu semakin besar maupun kecil resistansi suatu beban maka tegangan keluaran akan relatif stabil pada tegangan yang diatur sebesar 9V dan 15V. Pada Gambar 13. terlihat hubungan antara nilai beban resistif dengan arus keluaran konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan yaitu semakin besar nilai resistansi suatu beban maka arus keluaran semakin kecil, begitu juga sebaliknya apabila nilai resistansi suatu beban semakin kecil maka arus keluaran yang dihasilkan semakin besar.

3.2. Pengujian Efisiensi Konverter Arus Searah tipe *Flyback*

Efisiensi konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik dapat dicari dengan menghitung daya *input* (P_{in}) dan daya *output* (P_{out}) pada konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik dengan variasi beban antara 330Ω – 47Ω, dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\% \quad (4)$$

dimana

$$P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$$

$$P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$$

$$P_{IN} = \text{Daya masukan (W)}$$

$$P_{OUT} = \text{Daya keluaran (W)}$$

Persamaan 4 digunakan untuk mengetahui seberapa besar efisiensi dari konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan pada penelitian ini dalam persentase. Untuk efisiensi konverter arus searah tipe *Flyback* yang dirancang dengan dua tegangan keluaran ini adalah 75%. Nilai ini mengacu pada estimasi efisiensi konverter arus searah tipe *Flyback* untuk aplikasi tegangan keluaran rendah yaitu sebesar 70% – 75% [11].

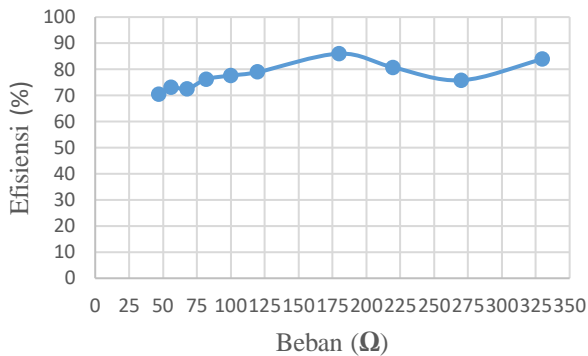
Hasil perhitungan besar efisiensi konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan dapat dilihat pada Tabel 2. berikut.

Tabel 2. Perhitungan Efisiensi Konverter Arus Searah tipe *Flyback* dengan Umpan Balik Tegangan

R (Ω)	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{out} 9V (V)	I _{out} 9V (A)	V _{out} 15V (V)	I _{out} 15V (A)	P _{in} (W)	P _{out} 9V (W)	P _{out} 15V (W)	P _{out} Total (W)	η (%)
330	12,04	0,13	9,0	0,08	14,83	0,04	1,57	0,72	0,59	1,31	83,90
270	12,04	0,17	9,0	0,09	14,83	0,05	2,05	0,81	0,74	1,55	75,80
220	12,05	0,19	9,0	0,09	14,83	0,07	2,29	0,81	1,04	1,85	80,72
180	12,05	0,21	9,0	0,11	14,83	0,08	2,53	0,99	1,19	2,18	86,01
120	12,05	0,31	9,0	0,13	14,82	0,12	3,74	1,17	1,78	2,95	78,93
100	12,05	0,35	9,0	0,15	14,80	0,13	4,22	1,35	1,92	3,27	77,63
82	12,05	0,44	9,0	0,17	14,77	0,17	5,30	1,53	2,51	4,04	76,21
68	12,04	0,55	9,0	0,19	14,73	0,21	6,62	1,71	3,09	4,80	72,54
56	12,04	0,68	9,0	0,21	14,62	0,28	8,19	1,89	4,09	5,98	73,08
47	12,04	0,77	9,0	0,24	14,57	0,30	9,27	2,16	4,37	6,53	70,45

Pada Tabel 2. terlihat nilai efisiensi dari konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan memiliki efisiensi tertinggi sebesar 86,01% pada beban 180Ω dan efisiensi terendah pada beban 47Ω dengan efisiensi sebesar 70,45%. Rata-rata efisiensi dari konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan sebesar 77,53%.

Pada Gambar 14. menunjukkan grafik hubungan antara efisiensi konverter arus searah tipe *Flyback* terhadap beban resistif. Efisiensi konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan memiliki rata-rata efisiensi sebesar 77,53%.



Gambar 14. Grafik Hubungan Efisiensi Konverter Arus Searah tipe *Flyback* dengan Umpan Balik Tegangan Terhadap Variasi Beban Resistif

Dapat dilihat pada Gambar 14. untuk efisiensi tertinggi ketika konverter dibebani resistor 180Ω yaitu $86,01\%$. Sedangkan efisiensi terendah dialami konverter saat diberi resistor sebesar 47Ω yaitu $70,45\%$, hal ini dikarenakan adanya disipasi daya pada dioda *output* di masing-masing sisi tegangan keluaran. Pada sisi tegangan keluaran $9V$ ketika dibebani resistor 47Ω arus yang mengalir sebesar $0,24A$ dan *voltage drop* dioda SR5100 adalah $0,85V$ sehingga terjadi disipasi daya $0,204W$. Kemudian di sisi tegangan keluaran $15V$ ketika dibebani resistor 47Ω arus yang mengalir sebesar $0,30A$ dan *voltage drop* dioda SR5100 adalah $0,85V$ sehingga terjadi disipasi daya $0,255W$. Sehingga total disipasi daya kedua dioda *output* ini ketika dibebani resistor 47Ω adalah $0,459W$.

Dari pengujian ini, diperoleh hasil bahwa efisiensi konverter arus searah tipe *Flyback* telah memenuhi kriteria pada rancangan awal.

4. Kesimpulan

Pada pengujian konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan di sisi keluaran $9V$ diperoleh tegangan keluaran tetap terjaga sebesar $9V$ ketika diberi variasi beban resistif 330Ω sampai 47Ω . Namun di sisi keluaran $15V$ terdapat penurunan tegangan dari $14,83V$ dengan beban 330Ω ke $14,57V$ dengan beban 47Ω karena pada sisi keluaran $15V$ hanya menyesuaikan perubahan *duty cycle* dari sisi keluaran $9V$. Dari pengujian juga diperoleh efisiensi tertinggi sebesar $86,01\%$ pada beban 180Ω dan efisiensi terendah pada beban 47Ω sebesar $70,45\%$. Rata-rata efisiensi dari konverter arus searah tipe *Flyback* dengan umpan balik tegangan adalah sebesar $77,53\%$. Hasil tersebut telah memenuhi kriteria efisiensi pada perancangan awal. Penelitian ini dapat dikembangkan kedepannya dengan menambahkan umpan balik arus dan mengaplikasikan pengiriman sinyal umpan balik terisolasi.

Referensi

- [1]. D. W. Hart, *Power Electronics*. McGraw-Hill, 2011.
- [2]. Y. Sawitra, "PERANCANGAN 7,3 W MULTIPLE OUTPUT SELF OSCILLATING FLYBACK CONVERTER," 2017.
- [3]. A. S. Putra, T. Andromeda, and A. Warsito, "REALISASI KONVERTER DC-DC TIPE PUSH-PULL BERBASIS IC TL494 DENGAN UMPAN BALIK TEGANGAN," *TRANSIENT*, vol. 6, pp. 1–8, 2017.
- [4]. E. S. D. Prakoso, T. Andromeda, and B. Winardi, "PERANCANGAN KONVERTER ARUS SEARAH ZETA VOLTAGE FEEDBACK MENGGUNAKAN IC TL494," no. November, 2017.
- [5]. L. W. Cahyadi, T. Andromeda, and M. Facta, "KINERJA KONVERTER ARUS SEARAH TIPE BUCK CONVERTER DENGAN UMPAN BALIK TEGANGAN BERBASIS TL494," vol. 6, 2017.
- [6]. "IRF540N HEXFET® Power MOSFET," International Rectifier, pp. 1–9.
- [7]. "Schottky Barrier Rectifier," no. 1, RECTRON SEMICONDUCTOR, 2006, pp. 9–10.
- [8]. Rubycon, "RADIAL LEAD ALUMINUM ELECTROLYTIC CAPACITORS," 2016.
- [9]. "TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circuits," TEXAS INSTRUMENT, 2017.
- [10]. Analog Devices, "Decoupling Techniques," in *Application Note, Analog Devices*, 2009, pp. 1–14.
- [11]. H.-S. Choi, "Application Note AN4137 Design Guidelines for Off-line Flyback Converters Using Fairchild Power Switch (FPS)," FAIRCHILD SEMICONDUCTOR, 2003, pp. 1–22.