

KINERJA KONVERTER ARUS SEARAH TIPE *BUCK CONVERTER* DENGAN UMPAN BALIK TEGANGAN BERBASIS TL494

Lukman Wira Cahyadi^{*)}, Trias Andromeda dan Mochammad Facta

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

^{*)}E-mail: lukmanwira15@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan konversi tegangan arus searah semakin banyak digunakan di bidang industri dalam skala besar maupun kecil. Salah satu cara untuk mengkonversi tegangan arus searah ke tegangan arus searah yang lebih rendah adalah dengan menggunakan rangkaian buck converter. Pada konverter arus searah tipe buck converter kondisi open loop control tidak mampu merespon terhadap perubahan beban. Hal ini mengakibatkan keluaran dari konverter arus searah tipe buck converter tidak stabil dan kurang efisien. Jadi untuk mengatasi kasus tersebut dibuat suatu sistem dengan pengendali close loop. Pada Tugas Akhir ini dirancang buck converter dengan umpan balik tegangan berbasis IC TL494 sebagai rangkaian pembangkit sinyal PWM. Umpan balik tegangan berfungsi untuk memonitor tegangan keluaran buck converter, yang akan diumpangkan pada komparator yang ada di dalam IC TL494. Hasil pengujian yang sudah dilakukan didapatkan bahwa tegangan keluaran buck converter dengan umpan balik tegangan cenderung konstan dengan adanya perubahan beban. Tegangan keluaran rata – rata buck converter dengan umpan balik tegangan sebesar 14,68 volt. Efisiensi rata – rata buck converter dengan umpan balik tegangan sebesar 92,45 %. Pada pengujian objek aki sebagai beban, respon tegangan keluaran buck converter dengan umpan balik tegangan mengikuti kondisi tegangan terminal aki. Hal ini karena aki merupakan catu daya arus searah murni.

Kata kunci: konverter arus searah, buck converter, umpan balik, IC TL494

Abstract

Direct current voltage conversion needs are increasingly used in industry on a large and small scale. One way to convert the direct current voltage to a lower direct current voltage is to use buck converter circuit. In the converter type of direct current buck converter open-loop control conditions are not able to respond to changes in the load. This resulted in the output of buck converter is not stable and less efficient. So to solve the case is made of a system with closed loop control. In this final project designed buck converter with a voltage feedback based IC TL494 as PWM signal generated circuit. The feedback voltage is used to monitor the output voltage of the buck converter, which will be fed to the comparator in the IC TL494. Results of testing that has been done shows that the output voltage of the buck converter with a voltage feedback disposed to stay constant with the change of load. Average output of buck converter with a feedback voltage is 14,68 volt. Average efficiency of buck converter with a feedback voltage is 92.45%. In the object test battery as a load, the output voltage response buck converter with a voltage feedback following the battery terminal voltage conditions. This is because the battery is pure direct current power supply.

Keywords: direct current converter, buck converter, feedback, IC TL494

1. Pendahuluan

Konverter arus searah tipe *buck converter* dapat digunakan berbagai aplikasi seperti sebagai catu daya motor dan *charger* aki. Pada penelitian [1][3][5] konverter arus searah digunakan sebagai catu daya motor. IC TL494 digunakan sebagai pengontrol utama. Penelitian [2][4][6] dibahas konverter arus searah tipe

buck converter sebagai *charger* aki dengan pemucuan menggunakan IC TL494. Kedua penelitian ini tidak menggunakan umpan balik (*feedback*) tegangan sebagai umpan balik tegangan keluaran dari *buck converter*. Kedua penelitian ini dalam kondisi *openloop control*, sehingga dalam penelitian tersebut tidak mampu untuk merespon terhadap perubahan beban [7].

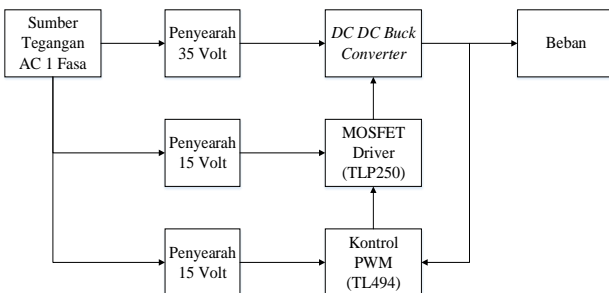
Pada Tugas Akhir ini dirancang rangkaian konverter arus searah tipe *buck converter* dengan umpan

balik (*feedback*) tegangan berbasis IC TL494. Tugas Akhir ini mengimplementasikan fitur *feedback* pada IC TL494 untuk mengendalikan tegangan keluaran *buck converter*. Tegangan keluaran *buck converter* diumpan balik ke rangkaian kontrol IC TL494 melalui sensor pembagi tegangan. *Duty cycle* yang dihasilkan IC TL494 akan berubah secara otomatis ketika menerima sinyal umpan balik (*feedback*). Proses ini akan menyebabkan tegangan keluaran *buck converter* secara otomatis menyesuaikan tegangan referensi yang disetting.

Konverter arus searah tipe *buck converter* dengan umpan balik (*feedback*) tegangan dalam Tugas Akhir ini digunakan sebagai regulator penurun tegangan arus searah yang stabil dan efisien. Beban yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah beban resistif murni yang dapat diatur berupa *rheostat* dan aki sebagai salah satu objek pengujian.

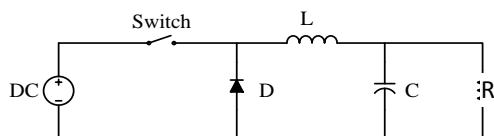
2. Metode

Perancangan Tugas Akhir ini terdiri dari rangkaian penyearah (*rectifier*), rangkaian konverter arus searah tipe *buck converter*, rangkaian kontrol pembangkit sinyal PWM, dan beban.



Gambar 1. Blok Diagram Alat

2.1 Konverter Arus Searah Tipe Buck Converter



Gambar 2. Rangkaian Buck Converter

Konverter arus searah tipe *Buck Converter* digunakan sebagai penyedia daya DC untuk suplai aki sebagai beban penelitian tugas akhir ini. Komponen – komponen penyusun yang digunakan pada konverter arus searah tipe *Buck Converter* antara lain :

1. Sumber Tegangan Arus Searah

Sumber yang dipakai untuk menyuplai rangkaian konverter arus searah didapat dari rangkaian penyearah.

Sumber tegangan arus searah ini memberikan tegangan arus searah sebesar 25 V untuk mensuplai rangkaian konverter arus searah.

2. Saklar

Komponen pensaklaran yang digunakan pada konverter arus searah pada tugas akhir ini adalah MOSFET. Pemilihan MOSFET harus mempertimbangkan nilai tegangan dan arus operasi. Tegangan masukan Konverter arus searah adalah 35,35 volt.

MOSFET yang dipakai adalah MOSFET IRF 460 yang mempunyai tegangan Breakdown Drain-Source $V_{(BR)DS}$ adalah 500 volt dan kemampuan arus drain maksimal 20 ampere [10], sehingga pemakaian MOSFET tipe IRF460 ini aman untuk dipakai karena arus rata-rata yang dialirkan rangkaian daya yaitu 1 A.

3. Dioda

Dioda yang digunakan adalah MUR460. Dioda ini dipilih karena mempunyai sifat *ultrafast recovery* dengan waktu pemulihan 75ns [11].

4. Induktor

Induktor yang digunakan pada konverter arus searah ini diperhitungkan nilainya untuk disesuaikan dengan parameter lain yang berhubungan. Induktor yang digunakan merupakan induktor jenis solenoida yang dibuat dari kawat tembaga yang dililitkan pada inti ferit.

$$L_{min} = \frac{(1 - D)R}{2f} = \frac{(1 - 0,41)10}{2 \cdot 25000} = 0,118 \text{ mH}$$

$$L = \frac{V_o (V_i - V_o)}{f \cdot V_i \cdot \Delta I} = \frac{14 (35 - 14,4)}{25000 \cdot 35 \cdot 0,14} = 2,44 \text{ mH}$$

Pemilihan nilai induktor lebih besar dari nilai induktor minimal ($L > L_{min}$) agar *Buck Converter* bekerja pada *Continous Conduction Mode (CCM)* [8].

5. Kapasitor

Kapasitor berfungsi sebagai filter tegangan untuk membatasi *ripple* tegangan yang disebabkan kenaikan nilai beban. Kapasitor yang digunakan untuk perancangan *buck converter* ini mempunyai nilai 470 μF . Hal ini dilakukan untuk mendapatkan tegangan *ripple* puncak ke puncak kapasitor (ΔV_o) yang kecil.

$$C = \frac{(1 - D)}{8 L \frac{\Delta V_o}{V_o} f^2} = \frac{(1 - 0,41)}{8 \cdot 2,44 \times 10^{-3} \cdot \frac{0,014}{14,4} \cdot 25000^2} = 317,02 \mu\text{F}$$

Pada perhitungan kapasitor didapat nilai kapasitansi kapasitor sebesar 317,02 μF . Pada realisasinya kapasitor yang dipasang adalah 470 μF . Nilai kapasitansi sebesar 317,02 μF tidak dapat ditemukan di pasaran, sehingga dipilih nilai kapasitansi kapasitor di atas nilai perhitungan. Pemilihan nilai kapasitansi kapasitor yang lebih besar

daripada nilai perhitungan bertujuan untuk mengurangi ripple tegangan keluaran.

2.2 Rangkaian Kontrol Pembangkit Sinyal PWM dengan Umpan Balik Tegangan

PWM atau disebut *Pulse Width Modulation* digunakan untuk pengontrolan MOSFET. MOSFET dipicu untuk menjadi saklar dengan frekuensi tinggi. Proses pensaklaran atau *switching* ini diaplikasikan dengan T-on (waktu saat switch tertutup) dan T (waktu satu periode pulsa) atau biasa disebut *Duty Cycle*. Pada tugas akhir ini sinyal PWM yang dihasilkan dari IC TL494 dan rangkaian MOSFET Driver. Pada IC TL494 terdapat pin *feedback* yang berfungsi menerima sinyal umpan balik dari tegangan keluaran sistem

Nilai frekuensi osilasi pada rangkaian kontrol IC TL494 diatur oleh dua komponen yang dihubungkan dengan kaki 5 dan 6. Kaki 5 IC TL494 adalah *Resistor Timer* (RT) dan kaki 6 IC TL494 adalah *Capacitor Timer* (CT) [4].

$$f_s = \frac{1,1}{R_T \cdot C_T} \quad (1)$$

$$f_{osc(max)} = \frac{1,1}{2200 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 50 \text{ kHz} \quad (R_{Var} = 0 \Omega)$$

$$f_{osc(min)} = \frac{1,1}{52200 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 2107,28 \text{ Hz} \quad (R_{Var} = 50 \text{ k}\Omega)$$

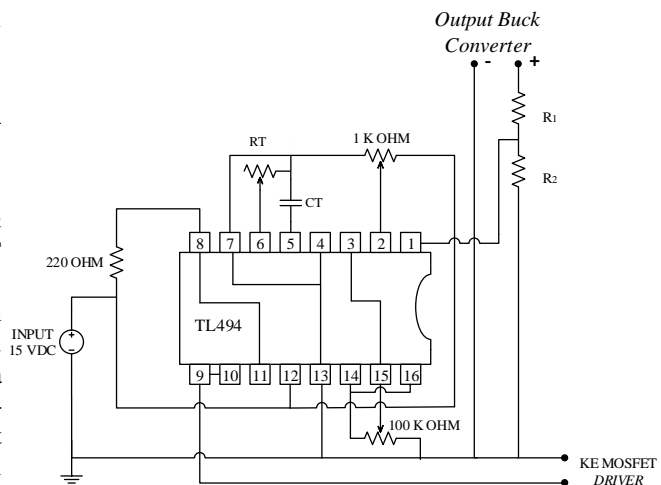
Perancangan umpan balik yang digunakan pada penelitian ini adalah umpan balik tegangan. Umpan balik tegangan berfungsi untuk memonitor tegangan keluaran *buck converter*. Pada perancangan umpan balik tegangan terdapat resistor pembagi tegangan yang berfungsi sebagai sensor tegangan keluaran *buck converter*. Nilai resistor ditentukan dengan menggunakan rumus [9]:

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

$$14,4 = 8 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$R_1 = 0,8 R_2$$

Nilai V_{OUT} adalah nilai keluaran dari *buck converter*. Nilai V_{OUT} ditentukan sebesar 14,4 volt. Nilai V_{REF} adalah nilai tegangan referensi sebagai acuan pembandingan dengan tegangan pada pin 1. Acuan yang digunakan sebagai tegangan referensi sebesar 8 volt.

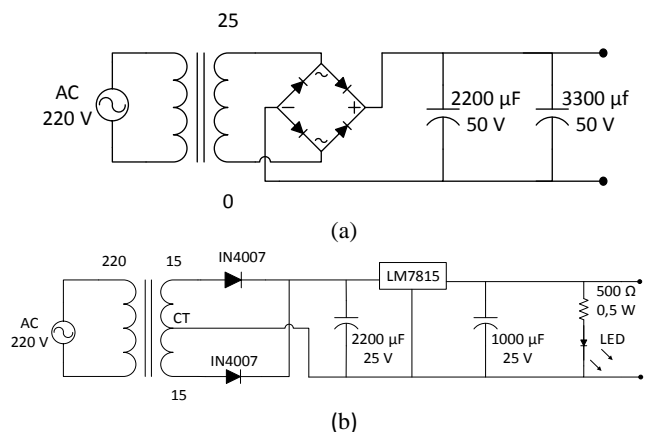


Gambar 3. Rangkaian IC TL494 dengan umpan balik tegangan

Perhitungan dari Persamaan 2 didapat nilai R_1 4/5 dari R_2 , sehingga untuk pemilihan resistor R_2 sebesar 30 k Ω maka nilai resistor R_1 sebesar 20 k Ω .

2.3 Penyearah

Penyearah berfungsi sebagai pengubah tegangan arus bolak-balik (*Alternating Current*) menjadi tegangan arus searah (*Direct Current*). Rangkaian penyearah ini digunakan sebagai suplai rangkaian daya konverter arus searah tipe *buck converter* dan suplai rangkaian kontrol pembangkit sinyal PWM IC TL494. Gambar 4 (a) dan (b) adalah rangkaian penyearah yang digunakan pada tugas akhir ini.



Gambar 4. Rangkaian Penyearah

Penyearah pada tugas akhir ini dilengkapi dengan kapasitor sebagai filter tegangan keluaran.

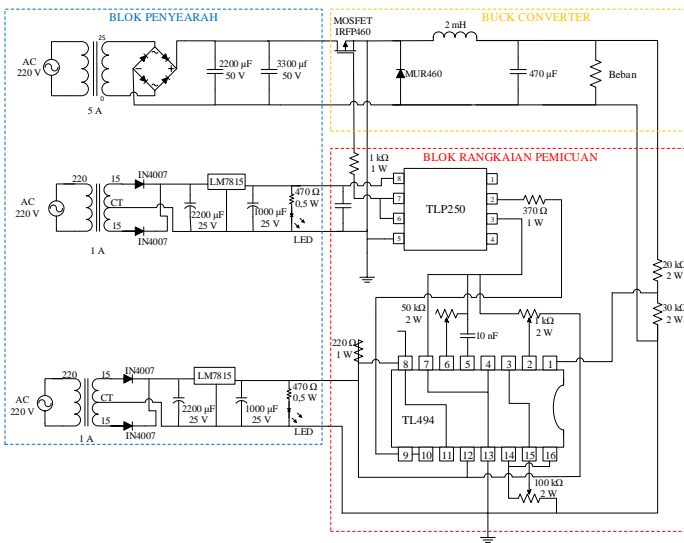
2.4 Beban

Beban yang digunakan pada Tugas Akhir ini terdiri dari 2 macam yakni beban resistif murni dan Aki. Pemilihan aki dengan merek GS tipe GM5Z-3B (12V-5Ah/10H) karena aki tersebut sudah umum digunakan oleh masyarakat luas dan banyak beredar di pasaran sehingga mudah didapatkan. Aki ini merupakan jenis baterai *lead acid* (aki basah). Tegangan nominalnya sebesar 12 volt. Kapasitas dari aki ini sebesar 5Ah/10Hr artinya akumulator ini dapat memberikan kuat arus sebesar 0,5 Ampere selama 10 jam.

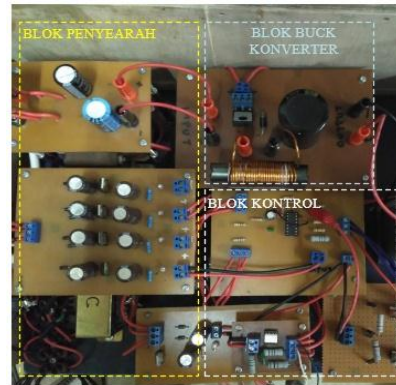


Gambar 5. Aki basah

2.5 Rangkaian Keseluruhan



Gambar 6. Skema rangkaian keseluruhan

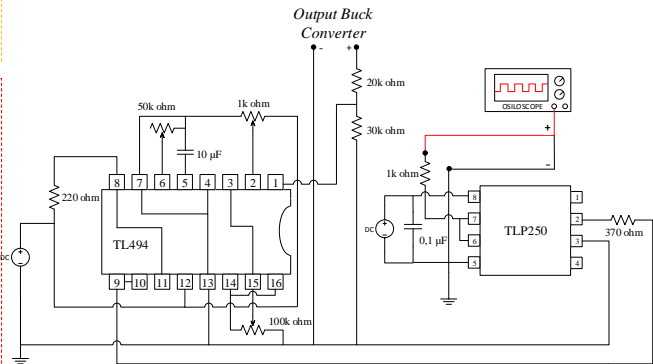


Gambar 7. Realisasi rangkaian keseluruhan

3. Hasil dan Analisis

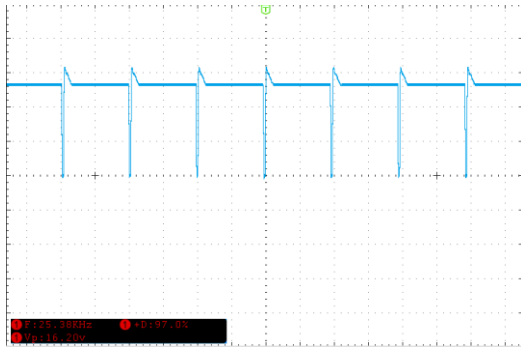
3.1 Pengujian Rangkaian Kontrol Sinyal PWM dengan Umpan Balik Tegangan

Rangkaian kontrol pembangkit sinyal PWM yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah IC TL494 dengan satu keluaran (*single-ended*). Pengujian rangkaian kontrol pembangkit sinyal PWM dilakukan dalam kondisi beban telah terpasang dan sinyal *feedback* juga terpasang ke rangkaian kontrol. Pengujian dilakukan dengan melihat respon gelombang kontrol ketika beban berubah.



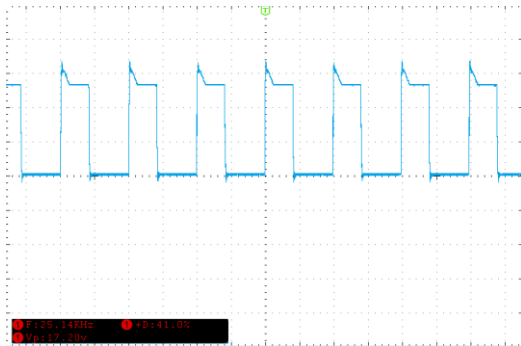
Gambar 6. Pengujian rangkaian kontrol pembangkit sinyal PWM dengan IC TL494

Gambar 6 adalah pengujian rangkaian kontrol pembangkit sinyal PWM berbasis IC TL494 dengan umpan balik dari keluaran *buck converter*. Pengujian dilakukan pada keluaran TLP250 sebagai *driverr* rangkaian kontrol pembangkit sinyal PWM IC TL494. Sinyal PWM digunakan untuk memicu MOSFET pada rangkaian *buck converter*.



Gambar 7. Gelombang keluaran sinyal PWM TL494 dengan driver TLP250 ketika duty cycle 97%

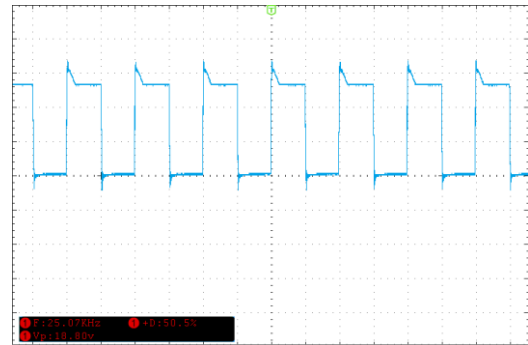
Gambar 7 merupakan gelombang keluaran dari IC TL494 ketika *duty cycle* 97% dan kondisi *buck converter* belum menyala (*off*). Pada Gambar 4.10 terlihat bahwa gelombang kontrol dari IC TL494 dengan *feedback* ketika kondisi *buck converter off* mengakibatkan tegangan pada pin 1 yang terhubung dengan *output buck converter* bernilai 0 volt (tidak bertegangan). Pin 2 pada IC TL494 telah terhubung dengan tegangan referensi, sehingga komparator pada IC TL494 membandingkan tegangan pin 1 *noninverting* dengan pin 2 *inverting*. Pada Gambar 7 tegangan pada pin 1 *noninverting* lebih kecil daripada tegangan pada pin 2 *inverting*, sehingga akan menaikkan *duty cycle*. Frekuensi *switching* diatur sebesar 25,38 kHz.



Gambar 8. Gelombang keluaran sinyal PWM TL494 dengan driver TLP250 ketika duty cycle 41%

Gambar 8 menampilkan hasil gelombang keluaran sinyal PWM ketika *duty cycle* 41 % dan kondisi *buck converter* telah menyala (*on*) dengan beban sebesar 50 Ω. Ketika *buck converter* telah menyala (*on*) dengan beban terpasang 50 Ω maka tegangan keluaran *buck converter* dengan *feedback* sebesar 14 volt. Pada kondisi ini rangkaian kontrol memberikan respon dengan mengeluarkan *duty cycle* sebesar 41 % yang sebagaimana ditampilkan pada Gambar 8. Kondisi *duty cycle* yang semula bernilai 97 % pada Gambar 7 ketika *buck converter off*, *duty cycle* secara otomatis berubah menjadi 41 % ketika *buck converter on*. Hal ini karena tegangan keluaran *buck converter* diumpun balik ke pin 1 IC TL494, sehingga pada pin 1 *noninverting* TL494 yang semula tidak bertegangan mendapat tegangan dari umpan

balik tegangan *buck converter*. Frekuensi *switching* diatur sebesar 25,14 kHz.

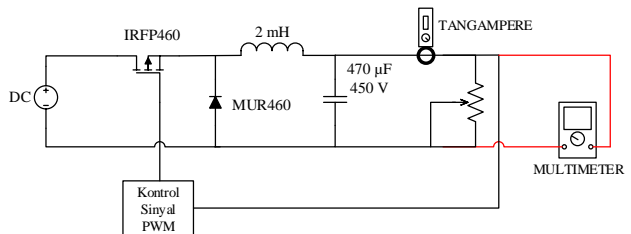


Gambar 9 Gelombang keluaran sinyal PWM TL494 dengan driver TLP250 ketika duty cycle 50,5%

Gambar 9 adalah hasil gelombang keluaran sinyal PWM ketika *duty cycle* 50,5% dan beban *buck converter* sebesar 5 Ω. Ketika beban terpasang 5 Ω maka untuk mempertahankan tegangan sebesar 14 volt, rangkaian kontrol memberikan respon dengan mengeluarkan *duty cycle* sebesar 50,5 % yang ditampilkan pada Gambar 9. Hubungan *duty cycle* terhadap tegangan *buck converter* dengan umpan balik tegangan berbanding terbalik terhadap beban. Semakin kecil nilai tahanan beban pada *buck converter*, maka semakin besar *duty cycle* yang dihasilkan. Frekuensi *switching* yang terbaca pada kondisi beban 5 Ω adalah 25,07 kHz.

3.1 Pengujian Tegangan Keluaran Rangkaian Buck Converter dengan Umpan Balik Tegangan

Pengujian tegangan keluaran *buck converter* dengan umpan balik dapat dilihat pada Gambar 10. Gambar 10 menunjukkan bahwa keluaran dari *buck converter* diumpun balik ke rangkaian kontrol sinyal PWM, sehingga rangkaian *buck converter* pada Gambar 11 dalam kondisi *close loop*.



Gambar 10. Pengujian tegangan keluaran *buck converter* dengan umpan balik

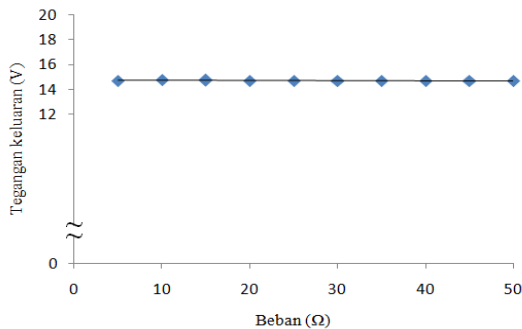
Tabel 1. Hasil pengujian tegangan keluaran *buck converter* dengan umpan balik tegangan

No	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	Beban (Ω)	Duty Cycle (%)
1	35,81	0,13	14,68	0,31	50	41

2	35,60	0,16	14,68	0,35	45	41	35,60	0,16	5,70	14,68	0,35	5,14	90,20	45
3	35,61	0,17	14,67	0,37	40	42	35,61	0,17	6,05	14,67	0,37	5,43	89,66	40
4	35,42	0,20	14,67	0,43	35	42	35,42	0,20	7,08	14,67	0,43	6,31	89,05	35
5	35,36	0,21	14,68	0,49	30	43	35,36	0,21	7,43	14,68	0,49	7,19	96,87	30
6	35,20	0,24	14,68	0,53	25	43	35,20	0,24	8,45	14,68	0,53	7,78	92,10	25
7	34,67	0,33	14,69	0,72	20	44	34,67	0,33	11,44	14,69	0,72	10,58	92,45	20
8	34,37	0,39	14,70	0,85	15	45	34,37	0,39	13,40	14,70	0,85	12,50	93,22	15
9	33,77	0,47	14,71	1,03	10	47	33,77	0,47	15,87	14,71	1,03	15,15	95,46	10
10	29,24	1,63	14,68	2,85	5	50	29,24	1,63	47,66	14,68	2,85	41,84	87,78	5

Pada Tabel 1 terlihat bahwa ada perubahan *duty cycle* terhadap beban. Hubungan *duty cycle* dengan beban adalah berbanding terbalik. Semakin kecil beban pada *buck converter* maka semakin besar *duty cycle* yang dihasilkan. Frekuensi switching diatur pada 25,33 kHz.

Tegangan keluaran pada *buck converter* dengan umpan balik tegangan menghasilkan tegangan keluaran yang konstan. Rata-rata tegangan keluaran pada *buck converter* dengan umpan balik tegangan pada Tabel 1 sebesar 14,68 volt. Hal ini karena fungsi umpan balik sebagai pengoreksi selisih antara tegangan keluaran dan referensi. Selisih dari tegangan tersebut diumpan balik ke rangkaian kontrol sebagai masukan, sehingga tegangan keluaran dari *buck converter* berusaha stabil walau beban diubah-ubah.



Gambar 11. Grafik tegangan keluaran *buck converter* dengan *feedback* tegangan

3.2 Perhitungan Efisiensi Buck Converter

Efisiensi *buck converter* dapat dicari dengan menghitung daya *input* (P_{in}) dan daya *output* (P_{out}) pada *buck converter* dengan variasi beban anatar 5 Ω hingga 5 Ω, dengan menggunakan Persamaan 3 berikut.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{IN}} \times 100 \% \quad (3)$$

dengan :

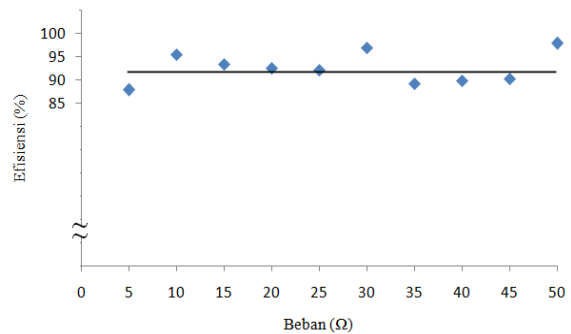
$$P_{in} = V_{in} \times I_{in}$$

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

Tabel 2. Hasil perhitungan efisiensi *buck converter* dengan umpan balik tegangan

V_{in} (V)	I_{in} (A)	P_{in} (W)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{out} (W)	Efisien si (%)	Beban (Ω)
35,81	0,13	4,66	14,68	0,31	4,55	97,76	50

Nilai efisiensi dari *buck converter* dengan umpan balik tegangan memiliki efisiensi tertinggi sebesar 97,76 % pada beban 50 Ω dan efisiensi terendah pada beban 5 Ω dengan efisiensi sebesar 87,78 %. Rata-rata efisiensi dari *buck converter* dengan umpan balik tegangan sebesar 92,45 %. Nilai efisiensi dari *buck converter* dengan umpan balik tegangan memiliki efisiensi yang tinggi dengan nilai rata-rata efisiensi tiap variasi beban diatas 85 %.

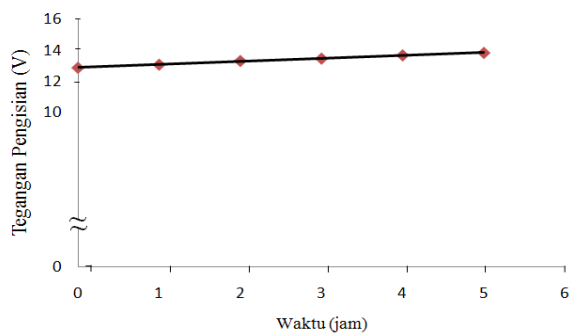


Gambar 12. Grafik hubungan efisiensi *buck converter* dengan *feedback* tegangan terhadap beban

Pada Gambar 12 menunjukkan grafik hubungan antara efisiensi *buck converter* dengan *feedback* tegangan terhadap beban. Kenaikan efisiensi ketika perubahan beban dari 5 Ω ke 10 Ω sebesar 7,56%. Pada beban 10 Ω hingga 35 Ω efisiensi *buck converter* dengan *feedback* tegangan cenderung konstan dengan rata-rata sebesar 94,02%. Penurunan efisiensi terjadi ketika perubahan beban dari 30 Ω ke 35 Ω sebesar 7,82% dan terjadi kenaikan kembali dari beban 35 Ω hingga 50 Ω. Semakin besar nilai beban semakin besar pula nilai efisiensi *buck converter* dengan *feedback* tegangan.

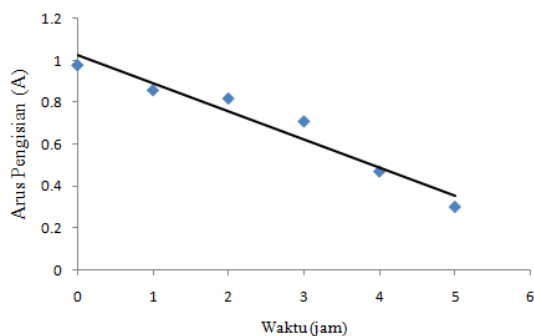
3.3 Pengujian Pengisian Aki

Pengujian pengisian (*charging*) aki dilakukan dengan menggunakan tegangan *charge* sebesar 14,4 volt dari keluaran *buck converter*. Aki yang diisi pada kondisi 10%. Tegangan aki yang terukur sebelum dilakukan pengisian sebesar 11,00 volt.



Gambar 11. Grafik hubungan tegangan pengisian aki terhadap waktu

Gambar 11 menunjukkan tegangan aki akan naik dari 12,8 volt hingga mencapai tegangan 13,9 volt selama proses pengisian. Hubungan tegangan pengisian terhadap waktu adalah berbanding lurus. Semakin lama waktu pengisian, maka semakin tinggi pula tegangan ketika *charging*. Penambahan tegangan ini menunjukkan bahwa kapasitas aki semakin bertambah.



Gambar 12. Grafik hubungan arus pengisian aki terhadap waktu

Gambar 12 menunjukkan bahwa selama pengisian aki, maka arus akan semakin turun. Pada pengujian pengisian aki ini indikator yang diamati adalah tegangan dan arus saat *charging*. Tegangan saat *charging* mencapai 13,8 volt menandakan aki sudah terisi penuh. Pengisian dihentikan ketika tegangan aki sudah mencapai nilai 13,8 volt. Arus pengisian yang semula 0,98 ampere mengalami penurunan seiring berjalannya waktu menjadi 0,30 ampere. Waktu yang dibutuhkan untuk pengisian aki dari kondisi tersisa 10 % hingga terisi penuh adalah 5 jam.

4. Kesimpulan

Tegangan keluaran konverter arus searah tipe *buck converter* dengan *feedback* tegangancenderung konstan dengan tegangan rata-rata sebesar 14,68 volt. Konverter arus searah tipe *buck converter* dengan *feedback* tegangan memiliki efisiensi rata-rata 92,45 %. *Buck converter* dengan umpan balik tegangan dapat digunakan sebagai charger aki, tetapi sinyal umpan balik tegangan menjadi tidak berfungsi karena tegangan

keluaran *buck converter* menyesuaikan dengan kondisi tegangan terminal aki. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan mengubah *feedback* tegangan menjadi *feedback* arus agar menghasilkan arus yang konstan ketika pengisian aki.

Referensi

- [1] M. Pandita, N. Agung, F. Mochammad, "Catu Daya Arus Searah Terkontrol Jenis Buck Converter Untuk Pemisah Magnetik Dalam Konveyor", Jurnal Transient, Vol. 5, No. 3, September 2016, ISSN : 2302-9927.
- [2] S. Eko, N. Agung, F. Mochammad, "Penggunaan Konverter Jenis Buck Dengan Pemutus Tegangan Otomatis Untuk Pengisi Akumulator", Jurnal Transient, Vol. 4, No. 1, Maret 2015, ISSN: 2302-9927,52.
- [3] A.J. Marco, F. Mochammad, N. Agung, "Perancangan DC Chopper Tipe Buck-Boost Converter Penguatan Umpan Balik IC TL494", Jurnal Transient, Vol. 4, No. 3, September 2015, ISSN: 2302-9927, 598
- [4] S. Juli, F. Mochammad, W. Bambang, "Perancangan DC Konverter Arus Searah Tipe Buck Pada Mode Operasi CCM Dan DCM", Jurnal Transient, Vol. 4, No. 3, September 2015, ISSN: 2302-9927,573
- [5] S. Biyan, F. Mochammad, N. Agung, "Pembuatan DC-DC Konverter 300 Volt Jenis Buck", Jurnal Transient, Vol. 4, No. 3, Juni 2015, ISSN: 2302-9927, 297
- [6] A.W. Donny, W. Agung, F. Mochammad, "Suplai DC Terpisah Untuk Multilevel Inverter Satu Fase Tiga Tingkat Menggunakan Buck Converter", Transmisi, Jurnal Teknik Elektro, Jilid 10, Nomor 1, Maret 2008, hlm 10-15
- [7] A. Yul, M. Era, "Pengisian Aki Buck Converter", Jurnal Elektron, Vol5, No. 1, Edisi Desember 2013, ISSN: 2085-6989
- [8] M.H. Rashid, "Power Electronics Handbook". New Jersey: Prentice-Hall International Inc, 1993, hal. 213-215.
- [9] TL494, NCV494 Switchmode Pulse Width Modulation Control Circuit, On Semiconductor Product Inc, 2005. www.alldatasheet.com/Datasheet+tl494
- [10] IRFP460, SiHFP460 Vishay Siliconix Power MOSFET, Vishay Product Inc, 2008. www.alldatasheet.com/Datasheet+irfp460
- [11] MUR440-E3, MUR460-E3 Ultrafast Plastic Rectifier, Vishay General Semiconductor Inc, 2016. www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/.../MUR460.html