

Received: Februari 2021

Accepted: Maret 2021

Published: April 2021

Pengaruh Beban dan Filter Pada Penyearah AC-DC Terkendali Untuk Rangkaian Pengisi Li-ion Berbasis *Bridge Rectifier* dan *Buck Converter* Menggunakan Metode CC/CV

Alif Pradana Hakim^{1*}, Sena Sukmananda Suprpto², Mifta Nur Farid³

Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia

Email: 04161007@student.itk.ac.id

Abstract

Lately, lots of electronic devices using battery as its power source such as handphone and laptop. A battery charger has AC (Alternating Current) source need an AC to DC (Direct Current) converter. The output of AC-DC converter is not suitable for CC/CV (Constant Current/Constant Voltage) charging method, a buck converter is required to produce the desired value. Moreover, the AC-DC conversion is carrying ripples, which could damage the battery and affect the rectification ratio (RR), filters are required to reduce the ripple and increase the RR. The experiment has been conducted on CC 1,5A and CV 4,2V using load variations. On CC, the increment of load cause increment of duty cycle. On CV, the increment of load cause the decrement of duty cycle. The use of filter on CC and CV are able to decrease ripple and increase RR. On CC, mathematic, simulation, and practical results are decrement of ripple value respectively, 46,45%, 46,43%, and 45,46%. While RR are increasing respectively, 18,17%, 18,17%, and 21,59%. While on CV, the mathematic, simulation, and practical ripple are decreasing as much as 46,44%, 46,6%, and 48,78%. While RR on CV are increasing as much as 18,17%, 18,17%, and 20,99%. The Li-ion charging took 4 hours 58 seconds to complete. The CC charging took 32 minutes and 10 seconds and CV charging took 3 hours 28 minutes 48 seconds. On CC charging, duty cycle will increase when the battery voltage is increasing. Whereas on CV, the duty cycle will decrease when the charging current is decreasing.

Keyword: AC- DC Converter, Constant Current, Constant Voltage.

Abstrak

Saat ini, banyak perangkat elektronik yang menggunakan baterai sebagai sumber dayanya seperti *handphone* dan *laptop*. Sebuah *charger* baterai yang bersumber AC (*Alternating Current*) memiliki sebuah penyearah AC ke DC (*Direct Current*). Keluaran penyearah AC-DC tidak sesuai untuk pengisian CC/CV (*Constant Current/Constant Voltage*), sehingga diperlukan *buck converter* untuk menghasilkan nilai yang diinginkan. Selain itu, penyearahan AC-DC membawa *ripple* yang dapat merusak baterai dan mempengaruhi *rectification ratio* (RR), sehingga memerlukan filter untuk mengurangi *ripple* dan meningkatkan *rectification ratio*. Percobaan dilakukan pada kondisi arus konstan atau CC 1,5A dan kondisi tegangan konstan atau CV 4,2V menggunakan variasi beban. Pada percobaan CC, diketahui bahwa peningkatan beban akan menyebabkan peningkatan *duty cycle* yang dibutuhkan. Pada uji coba CV, diperoleh hasil bahwa peningkatan beban menyebabkan pengurangan *duty cycle* yang dibutuhkan. Penggunaan filter pada kondisi CC dan CV dapat mengurangi *ripple* dan meningkatkan RR. Pada kondisi CC, *ripple* matematis, simulasi, dan uji coba secara berturut-turut berkurang 46,45%, 46,43%, dan 45,46%. RR matematis, simulasi, dan uji coba secara berturut-turut meningkat 18,17%, 18,17%, dan 21,59%. Pada kondisi CV, *ripple* matematis, simulasi, dan uji coba secara berturut-turut berkurang 46,44%, 46,6%, dan 48,78%. RR matematis, simulasi, dan uji coba secara berturut-turut meningkat 18,17%, 18,17%, dan 20,99%. Pengisian Li-ion 3Ah memakan waktu 4 jam 58 detik. Dimana pengisian CC selama 32 menit 10 detik dan pengisian CV selama 3 jam 28 menit 48 detik. Pada pengisian CC *duty cycle* meningkat saat terjadinya peningkatan tegangan baterai. Sedangkan pada pengisian CV, *duty cycle* menurun saat berkurangnya arus pengisian.

Kata Kunci: Constant Current, Constant Voltage, Penyearah AC- DC.

1. Pendahuluan

Baterai Li-ion (Lithium Ion) adalah sumber listrik bagi revolusi elektronik digital di masyarakat modern, khususnya pada *handphone* dan laptop [1]. Baterai Li-ion adalah baterai sekunder yang dayanya dapat diisi ulang. Untuk mengisi baterai tersebut dapat digunakan sebuah pengisi daya yang bersumber AC (*Alternating Current*) dan memiliki sebuah *converter* AC ke DC (*Direct Current*) yang terdiri dari sebuah trafo *step-down* dan *rectifier bridge* konvensional [2].

Pada penyearah *bridge* digunakan empat buah dioda untuk melakukan penyearahan gelombang tegangan tanpa memerlukan *center-tapped* trafo [3]. Ketika tegangan AC dikonversi menjadi DC menggunakan *rectifier*, tegangan keluaran DC membawa komponen AC yang tidak diinginkan yang disebut dengan *ripple*. Banyak pengaplikasian penyearah yang memerlukan agar *ripple* tidak melewati nilai yang ditetapkan dan saat *ripple* melewati nilai tersebut akan muncul hal-hal yang tidak diinginkan seperti rugi-rugi panas, *audible noise*, dan lain-lain. *Ripple* ini dapat dikurangi menggunakan sebuah filter [4].

Selain itu, nilai *ripple* pada *converter* dapat mempengaruhi *rectification ratio* (RR). RR merupakan cara untuk mengetahui efektivitas dari penyearah, nilai ini diperoleh dengan perbandingan nilai DC yang dihasilkan oleh *converter* dengan nilai DC yang dipengaruhi oleh *ripple* [3].

Bridge rectifier hanya berfungsi untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC saja dan tidak mampu mengubah level tegangan, sehingga untuk menghasilkan level tegangan yang diinginkan diperlukan rangkaian tambahan. Rangkaian yang dapat mengatur level tegangan DC disebut sebagai DC-DC *converter*. DC-DC *converter* memiliki konfigurasi dasar seperti *buck*, *boost*, dan *buck-boost converter* [5]. *Buck converter* berfungsi untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah dibandingkan tegangan masukannya.

Rangkaian yang digunakan untuk mengisi baterai Li-ion memiliki regulasi tegangan dengan toleransi lebih tinggi $\pm 1\%$ sebagaimana yang direkomendasikan oleh manufaktur baterai untuk memaksimalkan performa baterai Li-ion. Metode pengisian untuk baterai Li-ion adalah metode CC/CV (*Constant Current/Constant Voltage*) [6]. Pada pengisian CC/CV, fase CC dan fase CV dapat saling melengkapi, rugi-rugi kapasitas yang disebabkan oleh besarnya polarisasi elektrokimia pada fase CC dapat dikompensasi secara efektif pada fase CV. Sehingga, pengisian CC/CV menjadi lebih baik dibandingkan pengisian CC ataupun pengisian CV saja [7].

Pada baterai ini, pengisian CC biasanya memakan waktu lebih dari 1 jam, sedangkan total waktu pengisian sekitar 3 jam [8]. Pada metode ini, pengisian biasanya dihentikan dengan arus pengisian minimum. Arus minimum memiliki pendekatan arus pengisian saat mode CV dan menghentikan pengisian ketika arus bernilai 0,02C sampai 0,07C. Kondisi ini menyiratkan bahwa *ripple* arus keluaran *charger* tidak boleh melebihi nilai ini. Besaran nilai *ripple* pada arus keluaran

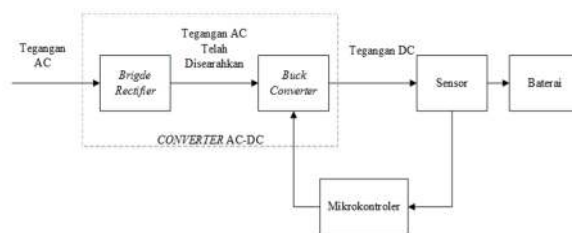
sangat penting untuk keandalan performa dan memperpanjang masa penggunaan baterai [6].

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis terkait pengaruh beban yang diberikan pada *duty cycle* penyearah AC-DC terkendali saat kondisi *constant current* (CC), *constant voltage* (CV). Selain pengaruh beban, dilakukan juga analisis pengaruh filter yang telah dirancang pada *ripple* dan *rectification ratio* penyearah AC-DC terkendali, dan juga waktu serta *duty cycle* yang dibutuhkan saat pengisian baterai Li-ion yang dilakukan oleh penyearah AC-DC terkendali.

2. Metoda Penelitian

2.1 Blok Diagram Sistem

Error! Reference source not found. menunjukkan diagram blok dari sistem pengisian yang akan dirancang. Dimulai dengan tegangan masukan AC pada rangkaian. Kemudian tegangan AC tersebut akan disearahkan oleh *bridge rectifier*. Tegangan AC yang telah disearahkan oleh *bridge rectifier* akan diatur dan difilter oleh *buck converter* dengan PWM dari mikrokontroler sehingga menghasilkan nilai keluaran yang diinginkan. Pada pengisian kendali PWM dari mikrokontroler bersifat *closed loop* dan mempertimbangkan *feedback* dari sensor. Selain itu, mikrokontroler pada pengisian juga berfungsi untuk merekam data yang terbaca oleh sensor. Lalu, beban yang digunakan adalah baterai yang akan



diisi.

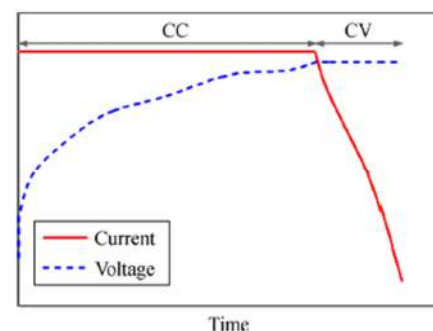
Gambar 1. Diagram Blok Sistem

2.2 Metode Pengisian CC/CV

Pada penelitian ini dipilih metode pengisian CC/CV (*Constant Current / Constant Voltage*), metode CC/CV adalah penggabungan dari pengisian arus konstan (CC) dan pengisian tegangan konstan (CV). Pada pengisian ini, sebuah baterai akan diisi dengan arus konstan yang telah ditentukan pada fase CC dan tegangan baterai akan meningkat hingga mencapai nilai maksimum yang aman. Lalu, baterai akan memasuki fase CV dengan tegangan konstan yang telah ditentukan, menyebabkan arus pengisian kontinyu menurun. Fase CV akan berakhir ketika arus yang berkurang mencapai nilai tertentu atau kapasitas tujuan telah tercapai [8].

Rangkaian yang digunakan untuk mengisi baterai Li-ion memiliki regulasi tegangan dengan toleransi lebih tinggi $\pm 1\%$ sebagaimana yang direkomendasikan

memaksimalkan performa baterai Li-ion. Metode pengisian untuk baterai Li-ion adalah metode CC/CV (*Constant Current/Constant Voltage*). Pada metode ini, pengisian biasanya dihentikan dengan arus pengisian minimum. Arus minimum memiliki pendekatan arus pengisian saat mode CV dan menghentikan pengisian ketika arus bernilai 0,02C sampai 0,07C. Kondisi ini menyiratkan bahwa *ripple* arus keluaran *charger* tidak boleh melebihi nilai ini. Besaran nilai *ripple* pada arus keluaran sangat penting untuk keandalan performa dan memperpanjang masa penggunaan baterai [6].



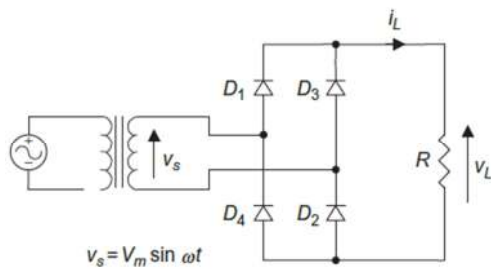
Gambar 1. Kurva Pengisian CC/CV [8]

2.3 Bridge Rectifier Dengan PWM

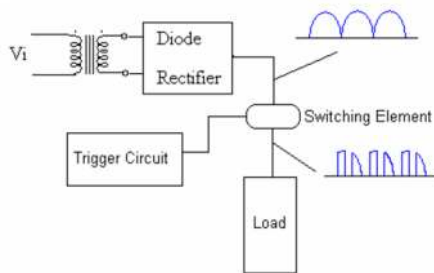
Pada Gambar 2 adalah *bridge rectifier* konvensional yang menggunakan empat buah dioda. Selama setengah siklus positif dari tegangan sekunder trafo, arus akan mengalir menuju beban dari dioda D1 dan D2. Selama setengah siklus negatif, D3 dan D4 akan mengalami konduksi. *Bridge rectifier* tersusun dari sebuah trafo, empat buah dioda, dan sebuah beban resistif R [3]. *Bridge rectifier* dapat digabungkan dengan metode pemotongan sinyal seperti PWM (*Pulse Width Modulation*). Pemotongan sinyal juga dapat digunakan untuk mengubah model matematis dari sebuah sinyal. Pada metode ini, tegangan keluaran dari *bridge rectifier* akan “dipotong” menggunakan sebuah urutan dengan sejumlah pulsa dan *duty cycle* untuk mengendalikan aliran arus menuju beban. Teknik ini menawarkan kendali linear untuk komponen DC dan dapat mendistribusikan komponen AC (*ripple*)

[9].

ripple berasal dari fungsi genap [9].



Gambar 2. Bridge Rectifier Konvensional [3]



Gambar 3. Bridge Rectifier dengan PWM [9]

Pada penelitian ini, digunakan tegangan masukan 9VAC dengan frekuensi 50Hz, serta frekuensi penyaklaran 50kHz. Untuk *duty cycle* kondisi CC pada beban 1Ω dengan tegangan awal 9VAC dan arus target 1,5ADC didapatkan dengan persamaan [9] dan [11].

$$D = \frac{1,5 \times \pi}{1 \times 2 \times 9\sqrt{2}} \quad (1)$$

$$= 0,185 = 18,5\%$$

Nilai *duty cycle* yang diperlukan untuk kondisi CV dengan sumber 9VAC dan menghasilkan tegangan keluaran 4,2V dapat diperoleh dengan [9].

$$D = \frac{4,2 \times \pi}{2 \times 9\sqrt{2}} = 0,518 = 51,8\% \quad (2)$$

2.4 Ripple Factor

Pada sebuah *bridge rectifier* dengan PWM, nilai *ripple* dapat diperoleh dengan menggunakan deret Fourier. Hal ini

dikarenakan *ripple* setelah penyaklaran memiliki gelombang non-periodik [10]. Deret Fourier memiliki elemen sinyal pada fungsi cos (a_n) dan sin (b_n). Pada penyearah gelombang penuh elemen deret Fourier yang mempengaruhi

Diperoleh elemen deret Fourier untuk order 2 dengan menggunakan tegangan masukan 9VAC, frekuensi *ripple* 100Hz, frekuensi penyaklaran 50kHz, dan *duty cycle* pada persamaan (2) [10].

$$a_2 = \frac{2}{\pi} \sum_{k=0}^{\frac{50.000}{100}-1} \left[\int_{\frac{100 \times k \times \pi}{50.000}}^{\frac{100 \times \pi}{50.000}(k+0,518)} 9\sqrt{2}d(\theta) \right] \quad (3)$$

$$= -2,8V$$

$$b_2 = \frac{2}{\pi} \sum_{k=0}^{\frac{50.000}{100}-1} \left[\int_{\frac{100 \times k \times \pi}{50.000}}^{\frac{100 \times \pi}{50.000}(k+0,518)} 9\sqrt{2}d(\theta) \right] \quad (4)$$

$$= -4 \times 10^{-8}V$$

Sinyal sin dan cos dari frekuensi yang sama dapat dikombinasikan dalam sebuah sinusoid, hal ini mengakibatkan jumlah sinyal a_2 dan b_2 menjadi [3].

$$C_2 = \sqrt{2,8^2 + 4 \times 10^{-8}^2} \quad (5)$$

$$= 2,8V$$

Diperoleh nilai *ripple* sebesar [3].

$$\text{ripple} = \frac{2,8}{\sqrt{2} \times 4,2} \quad (6)$$

$$= 0,4714 = 47,14\%$$

2.5 Rectification Ratio

Rectification ratio atau rasio penyearahan adalah cara untuk mengetahui efektivitas dari penyearah [3]. Nilai ini dapat diperoleh dengan nilai pada persamaan (5), nilai tegangan target 4,2V, dan persamaan pada [3].

$$RR = \frac{4,2^2}{\left(\sqrt{\left(\frac{2,8}{\sqrt{2}} \right)^2 + 4,2^2} \right)^2} \quad (7)$$

$$= 0,81818 = 81,82\%$$

2.6 Filter Induktor

Penggunaan induktor berfungsi untuk mencegah arus meningkat terlalu tinggi

atau turun terlalu cepat. Penyearah yang

menggunakan filter induktor tidak akan menghasilkan tegangan sebesar filter kapasitor. Namun, kekurangan ini teratasi karena filter induktor dapat menghasilkan arus yang lebih tinggi tanpa perubahan yang signifikan pada tegangan keluarannya. Hal ini yang menjadikan filter induktor cocok untuk pengaplikasian daya tinggi [4]. Karena filter induktor terhubung seri dengan beban, nilai *ripple* dengan menggunakan filter dipengaruhi oleh [3].

$$\frac{v_o}{v_L} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (2\pi f_r L_f)^2}} \quad (8)$$

Sehingga perancangan filter induktor dengan nilai *ripple* awal 0,4714, nilai *ripple* akhir 0,1, dan beban [11].

$$R = \frac{4,2V}{1,5A} = 2,8\Omega \quad (9)$$

$$L = \frac{2,8 \sqrt{\left(\frac{0,4714}{0,1}\right)^2 - 1}}{2\pi \times 100} = 20,5 \text{ mH} \quad (10)$$

Dengan menggunakan persamaan untuk lilitan induktor [12] diperoleh banyaknya lilitan untuk nilai induktor tersebut.

$$N = 1000 \sqrt{\frac{20,5}{16 \times 10^3}} = 35,8 \approx 36 \text{ lilitan} \quad (11)$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, diperoleh nilai aktual induktor 20,7mH.

2.7 Filter Kapasitor

Penggunaan filter kapasitor setelah filter induktor akan menghasilkan kualitas tegangan dan arus yang tinggi. Kapasitor berfungsi untuk menghaluskan gelombang tegangan sedangkan induktor untuk menghaluskan gelombang arus [4]. Kapasitor terhubung secara paralel dengan beban dan total impedansi kapasitor-beban akan terhubung secara seri dengan induktor. Hal ini menyebabkan persamaan (8) berubah menjadi.

$$Z_{parallel} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2}} \quad (13)$$

$$\frac{v_o}{v_L} = \frac{Z_{parallel}}{\sqrt{Z_{parallel}^2 + (2\pi f_r L)^2}} \quad (12)$$

Dimana $Z_{parallel}$ diperoleh dengan [13]. dan X_C [14].

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_r C} \quad (14)$$

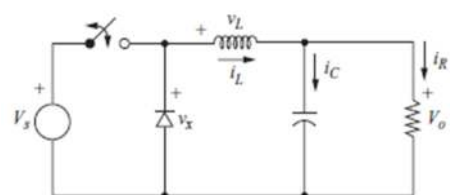
Sehingga didapatkan nilai filter kapasitor dengan nilai R pada persamaan (9), nilai induktor 20,7mH, *ripple* awal 0,4714, dan *ripple* akhir 0,01.

$$C = \frac{\sqrt{\frac{\left(\frac{0,01}{0,4714}\right)^2 - 1}{(2\pi \times 100 \times 20,7 \times 10^{-3})^2}}}{2\pi \times 100} = 5,7 \text{ mF} \quad (15)$$

Dengan menyesuaikan komponen yang tersedia, digunakan nilai kapasitor 8,2mF.

2.8 Buck Converter

Buck converter adalah sebuah *step-down DC-DC converter* yang menghasilkan rata-rata tegangan keluaran lebih rendah dari tegangan masukannya. Pada Gambar 4, sebuah *buck converter* terdiri dari sumber tegangan DC (V_s), saklar kontrol (S), dioda (D), filter induktor (L), filter kapasitor (C), dan beban resistansi (R). Pada rangkaian ini, ketika saklar S pada keadaan *on*, dioda D akan mengalami bias mundur. Ketika saklar *off*, dioda akan mengalami konduksi untuk menyuplai arus yang tak terinterupsi pada induktor [3].



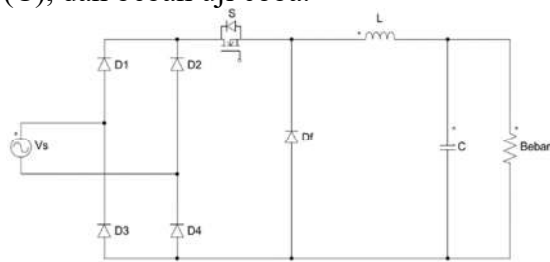
Gambar 4. Buck Converter [10]

2.9 Rangkaian Penyearah

Rancangan rangkaian penyearah AC-

DC terkendali merupakan gabungan dari dua konstruksi rangkaian yang telah ada sebelumnya, yakni *bridge rectifier* dan *buck converter*. Didapatkan rangkaian penyearah AC-DC seperti pada Gambar 5

berikut. Diketahui bahwa rangkaian ini terdiri dari sumber tegangan AC, diode *bridge* yang terdiri dari 4 buah dioda, saklar semi-konduktor, dioda *freewheel* (D_F), filter induktor (L), filter kapasitor (C), dan beban uji coba.



Gambar 5. Rangkaian Penyearah AC/DC

Rangkaian penyearah pada penelitian ini memiliki spesifikasi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi Alat

Parameter	Nilai/Tipe
Tegangan masukan (V_S)	9VAC
Frekuensi masukan (f_i)	50Hz
Tegangan keluaran (V_O) CV	4,2VDC

Tabel 1 Spesifikasi Alat

Parameter	Nilai/Tipe
Arus keluaran (I_O) CC	1,5A
Frekuensi <i>switching</i> (f_s)	50kHz
Kapasitas baterai (C)	3Ah
<i>Ripple</i> tegangan (ΔV)	1%
<i>Ripple</i> arus ($0.05C$) (ΔI)	10%
Beban Uji Coba CC	1, 2 dan
	2,5 Ω
Beban Uji Coba CV	3, 6, dan
	100 Ω
Dioda Penyearah	1N5822
MOSFET	IRF540N
Dioda <i>Freewheel</i>	1N5822

3. Hasil Penelitian

Diperoleh hasil data berdasarkan perhitungan matematis, simulasi, dan uji coba. Dilakukan pembahasan *duty cycle* pada kondisi CC dan CV untuk

mengetahui pengaruh variasi beban, serta pembahasan *ripple* dan *rectification ratio* pada kondisi CC dan CV untuk mengetahui pengaruh penggunaan filter.

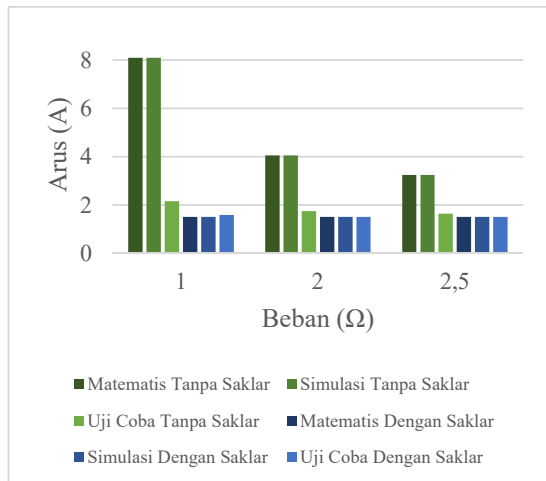
3.1. Duty Cycle

Pulse Wide Modulation (PWM) merupakan metode yang digunakan untuk mengatur lebar sinyal digital. Lebar sinyal ini direpresentasikan sebagai lebar pulsa dalam satu periode waktu. Umumnya PWM memiliki besar amplitudo dan frekuensi dasar yang sama, tetapi dengan lebar pulsa bervariasi. Dengan teknik PWM, beberapa pulsa on dan off akan terbentuk. Persentase pulsa ditampilkan dalam *duty cycle* dalam rentang 0 hingga 100 %.

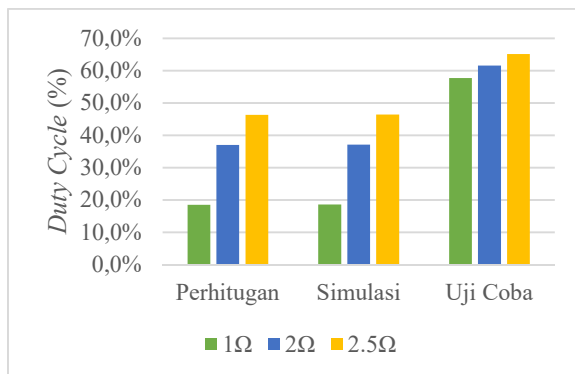
Pada bagian ini, saat kondisi CC rangkaian akan menghasilkan arus 1,5A dan saat kondisi CV akan menghasilkan tegangan konstan 4,2V. Berdasarkan hasil yang diperoleh, didapatkan arus saat kondisi CC tanpa dan dengan saklar pada Gambar 6. Diketahui bahwa pada matematis, simulasi, dan uji coba dapat diperoleh nilai arus 1,5A dengan nilai awalan yang berbeda-beda. Nilai *duty cycle* yang dibutuhkan untuk menghasilkan arus 1,5A terdapat pada Gambar 7. Pada Gambar 7 dapat diketahui bahwa pada perhitungan matematis, simulasi, dan uji coba bahwa variasi beban dapat memengaruhi nilai *duty cycle* yang dibutuhkan. Semakin tinggi nilai beban yang digunakan pada kondisi CC, maka semakin tinggi nilai *duty cycle* yang dibutuhkan.

Pada kondisi CV, didapatkan hasil perhitungan matematis, simulasi, dan uji coba pada Gambar 8. Pada Gambar 8 tersebut didapatkan hasil tegangan 4,2V untuk setiap kondisi beban. Pada hasil perhitungan nilai tegangan keluaran tanpa saklar bernilai sama, hal ini berakibat pada

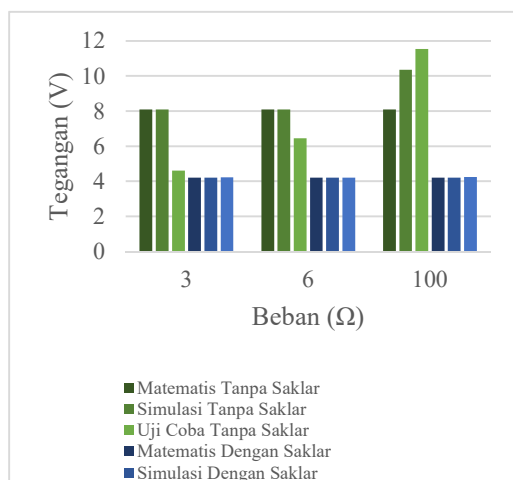
duty cycle yang dibutuhkan untuk semua beban bernilai sama. Sedangkan pada simulasi dan uji coba terdapat perbedaan nilai tegangan keluaran tanpa saklar, hal ini menyebabkan *duty cycle* yang dibutuhkan untuk menghasilkan 4,2V menjadi berbeda.



Gambar 6. Perbandingan Arus Keluaran Kondisi CC



Gambar 7. Perbandingan Duty Cycle Kondisi CC



Gambar 8. Perbandingan Tegangan Keluaran Kondisi CV

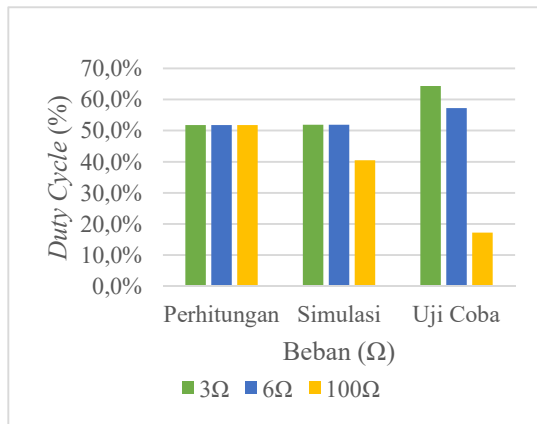
3.2. Ripple Factor

Pada bagian ini dibahas mengenai pengaruh penggunaan filter pada kondisi CC dan kondisi CV terhadap nilai *ripple* yang dihasilkan rangkaian penyearah terkendali. Pada kondisi CC, berdasarkan data yang diperoleh didapatkan nilai rata-rata *ripple* matematis tanpa menggunakan filter sebesar 47,14% dan setelah menggunakan filter sebesar 0,69% sehingga diperoleh penurunan nilai *ripple* secara matematis sebesar 46,45%. Pada hasil simulasi didapatkan nilai rata-rata *ripple* tanpa filter sebesar 47,14% dan dengan menggunakan filter 0,71%.

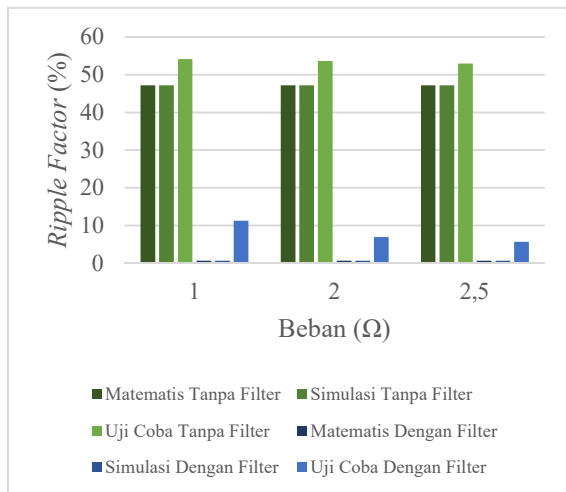
Diperoleh penurunan *ripple* secara simulasi sebesar 46,43%. Pada uji coba didapatkan nilai rata-rata *ripple* tanpa filter sebesar 53,45% dan dengan filter sebesar 7,99%, kemudian dapat diketahui penurunan *ripple* pada uji coba sebesar 45,45%. Pada uji coba dapat diketahui pada beban 1 Ω filter kapasitor tidak dapat berfungsi, sehingga nilai *ripple* difilter sepenuhnya dengan filter induktor. Hal ini menyebabkan *ripple* uji coba pada beban 1 Ω lebih tinggi dibandingkan beban lainnya. Berdasarkan Gambar 10 dapat diketahui bahwa secara perhitungan matematis, simulasi, dan uji coba bahwa penggunaan filter pada kondisi CC dapat menurunkan *ripple* pada seluruh variasi beban.

Pada kondisi CV, diperoleh nilai rata-rata *ripple* matematis tanpa menggunakan filter sebesar 47,14% dan setelah menggunakan filter sebesar 0,7% sehingga diperoleh penurunan nilai *ripple* secara matematis sebesar 46,44%. Pada hasil simulasi didapatkan nilai rata-rata *ripple* tanpa filter sebesar 47,14% dan dengan menggunakan filter 0,54%. Diperoleh penurunan *ripple* secara simulasi sebesar 46,6%. Pada uji coba didapatkan nilai rata-rata *ripple* tanpa filter sebesar 51,8% dan dengan filter sebesar 3,02%, kemudian dapat diketahui penurunan *ripple* pada uji coba sebesar 48,78%. Berdasarkan Gambar 11 dapat diketahui bahwa secara perhitungan matematis, simulasi, dan uji coba bahwa

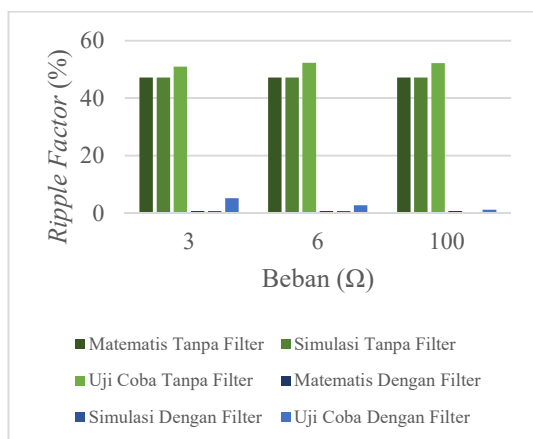
penggunaan filter pada kondisi CV dapat menurunkan *ripple* pada seluruh variasi beban meskipun tidak mencapai 1 %.



Gambar 9. Perbandingan Duty Cycle Kondisi CV



Gambar 10. Perbandingan Ripple Kondisi CC



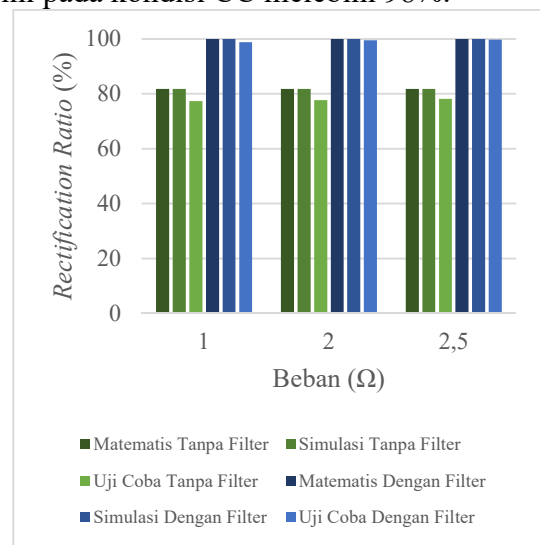
Gambar 11. Perbandingan Ripple Kondisi CV

3.3. Rectification Ratio

Pada bagian ini dibahas mengenai pengaruh penggunaan filter pada kondisi

CC dan kondisi CV terhadap nilai *rectification ratio* (RR) yang dihasilkan rangkaian penyearah terkendali. Pada kondisi CC, berdasarkan data yang diperoleh didapatkan nilai rata-ran RR matematis tanpa menggunakan filter sebesar 81,82% dan setelah menggunakan filter sebesar 99,99% sehingga diperoleh peningkatan nilai RR secara matematis sebesar 18,17%. Pada hasil simulasi didapatkan nilai rata-ran RR tanpa filter sebesar 81,82% dan dengan menggunakan filter 99,99%. Diperoleh peningkatan RR secara simulasi sebesar 18,17%.

Pada uji coba didapatkan nilai rata-ran *ripple* tanpa filter sebesar 77,72% dan dengan filter sebesar 99,31%, kemudian dapat diketahui peningkatan RR pada uji coba sebesar 21,59%. Pada uji coba 1Ω diperoleh nilai RR setelah filter terendah dengan nilai 98,75%, sehingga dapat dikatakan efisiensi penyearahan rangkaian ini pada kondisi CC melebihi 98%.

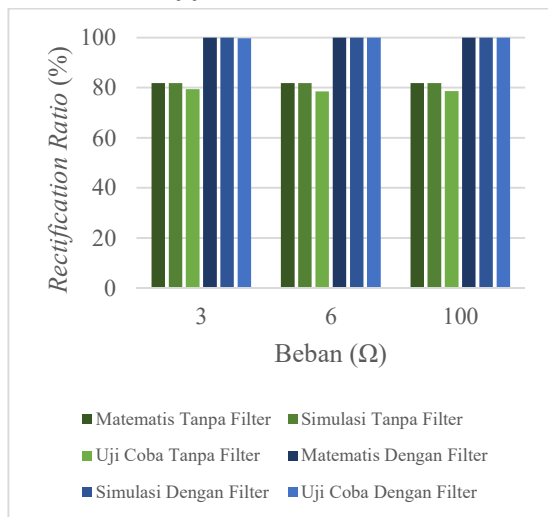


Gambar 12. Perbandingan RR Kondisi CC

Pada kondisi CV, berdasarkan data yang diperoleh didapatkan nilai rata-ran RR matematis tanpa menggunakan filter sebesar 81,82% dan setelah menggunakan filter sebesar 99,99% sehingga diperoleh peningkatan nilai RR secara matematis sebesar 18,17%. Pada hasil simulasi didapatkan nilai rata-ran RR tanpa filter sebesar 81,82% dan dengan menggunakan filter 99,99%. Diperoleh peningkatan RR secara simulasi sebesar 18,17%. Pada uji coba didapatkan nilai rata-ran *ripple* tanpa

filter sebesar 78,84% dan dengan filter sebesar 99,83%, kemudian dapat diketahui peningkatan RR pada uji coba sebesar 20,99%. Pada uji coba 3 Ω diperoleh nilai RR setelah filter terendah dengan nilai 99,73%, sehingga dapat dikatakan efisiensi

penyearahan rangkaian ini pada kondisi CV melebihi 99%.



Gambar 13. Perbandingan RR Uji Coba Kondisi CV

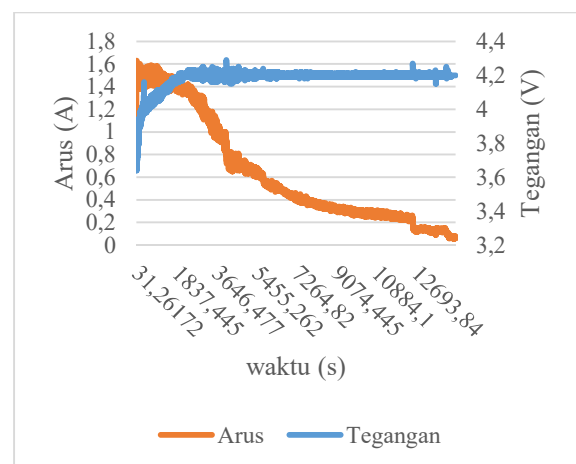
3.4. Pengisian Baterai Li-ion

Rangkaian yang telah dirancang digunakan untuk mengisi baterai Li-ion LG HG2 dengan kapasitas 3Ah. Berdasarkan pengisian baterai yang telah dilakukan, didapatkan grafik pengisian baterai seperti pada Gambar 14 dan grafik *duty cycle* pada Gambar 15. Berdasarkan gambar tersebut, dapat dilihat bahwa pengisian baterai dimulai pada tegangan 3,64V, arus 1,05A, dan *duty cycle* 61,96%. Pengisian dimulai pada detik 31 sampai detik 14489, sehingga didapatkan waktu pengisian selama 14458 detik atau setara dengan 4 jam 58 detik. Pada detik 31 sampai detik 1960 merupakan pengisian arus konstan. Pada pengisian ini, *duty cycle* diatur agar dapat menghasilkan arus keluaran senilai 1,5A. Tetapi, ketika tegangan baterai mencapai 4,1V pada detik 1239, nilai arus yang mampu dihasilkan oleh rangkaian menjadi lebih rendah dibandingkan 1,5A dan rangkaian tidak mampu menaikkan arus agar mencapai nilai 1,5A. Hal ini disebabkan oleh sumber

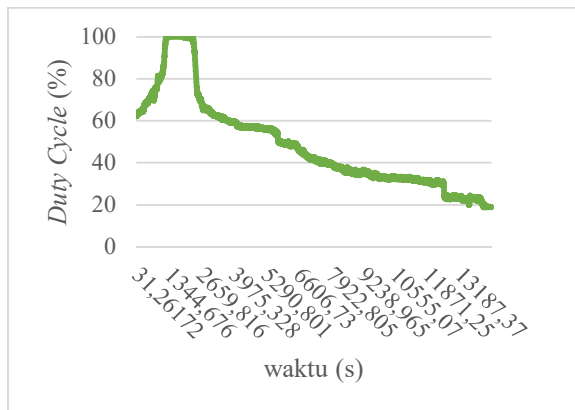
yang tidak ideal dan terbatas, sehingga walaupun *duty cycle* sudah mencapai nilai maksimum seperti pada Gambar 15 nilai arus tidak dapat ditingkatkan lagi.

Pada detik 1962 sampai detik 14489, pengisian dilakukan dengan kondisi tegangan konstan (CV). *Duty cycle* diatur agar rangkaian dapat mengisi dengan nilai tegangan konstan 4,2V. Pada Gambar 15, dapat diketahui bahwa terjadi penurunan nilai *duty cycle* yang digunakan dan sejalan dengan menurunnya nilai arus pengisian. Pengisian berakhir dengan nilai tegangan 4,2V, arus 0,06A, dan *duty cycle* 18,82%.

Berdasarkan gambar 14 dan gambar 15, dapat diketahui bahwa pengisian baterai Li-ion dengan kondisi CC terjadi selama 1929 detik atau 32 menit 10 detik dan pengisian dengan kondisi CV selama 3 jam 28 menit 48 detik. Sehingga dapat diketahui bahwa pengisian dengan kondisi CV pada baterai Li-ion memakan waktu yang lebih lama dibandingkan pengisian CC. Selain itu, dapat diketahui bahwa pada pengisian CC akan terjadi peningkatan nilai *duty cycle* yang terjadi karena peningkatan nilai tegangan baterai. Sedangkan pada pengisian CV, nilai *duty cycle* akan menurun sejalan dengan berkurangnya nilai arus pengisian.



Gambar 14. Grafik Pengisian Baterai



Gambar 15. Grafik Duty Cycle Pengisian Baterai

4. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan, simulasi, dan uji coba pada penelitian pengaruh beban dan filter pada penyearah AC-DC terkendali untuk rangkaian pengisi Li-ion berbasis *bridge rectifier* dan *buck converter* menggunakan metode CC/CV diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

Pada kondisi CC, semakin tinggi nilai beban yang diberikan maka semakin tinggi *duty cycle* yang dibutuhkan untuk menghasilkan arus keluaran yang sama. Pada kondisi CV, idealnya nilai beban tidak memengaruhi *duty cycle* yang dibutuhkan. Pada simulasi dan uji coba terdapat beban yang menghasilkan tegangan keluaran tanpa saklar yang berbeda dari nilai idealnya, sehingga menyebabkan nilai *duty cycle* yang dibutuhkan menjadi berbeda-beda. Hasil yang diperoleh adalah semakin tinggi nilai beban yang digunakan maka semakin rendah *duty cycle* yang dibutuhkan untuk mendapatkan tegangan keluaran yang sama.

Pengaruh penggunaan filter pada kondisi CC adalah dapat menurunkan nilai *ripple* dan meningkatkan *rectification ratio* (RR). Berdasarkan perhitungan matematis, simulasi, dan uji coba yang dilakukan diperoleh pengurangan nilai *ripple* secara berturut-turut, 46,45%, 46,43%, dan 45,46%. Lalu, pada perhitungan matematis, simulasi, dan uji coba yang dilakukan diperoleh peningkatan RR secara berturut-turut 18,17%, 18,17%, dan

21,59%.

Penggunaan filter pada kondisi CV dapat mengurangi nilai *ripple* dan meningkatkan *rectification ratio* (RR). Berdasarkan perhitungan matematis, simulasi, dan uji coba diperoleh pengurangan nilai *ripple* secara berturut-turut adalah 46,44%, 46,6%, dan 48,78%. Kemudian, dengan menggunakan perhitungan matematis, simulasi, dan uji coba diperoleh peningkatan RR secara berturut-turut 18,17%, 18,17% dan 20,99%.

Pengisian baterai Li-ion dengan kapasitas 3Ah menggunakan rangkaian yang telah dirancang memakan waktu selama 4 jam 58 detik. Dimana waktu pengisian terlama terdapat pada kondisi CV dengan waktu 3 jam 28 menit 48 detik, sedangkan pengisian kondisi CC terjadi selama 32 menit 10 detik. Pada pengisian CC terjadi peningkatan nilai *duty cycle* saat terjadinya peningkatan nilai tegangan baterai. Sedangkan pada pengisian CV, nilai *duty cycle* akan menurun sejalan dengan berkurangnya nilai arus pengisian.

5. Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, diperoleh beberapa saran sebagai berikut. Meningkatkan nilai tegangan masukan sehingga nilai arus pengisian kondisi CC dapat terjaga konstan ketika tegangan mencapai 4,1V atau lebih dan menambahkan sensor suhu untuk mengetahui kondisi suhu baterai saat pengisian.

6. Daftar Pustaka

- [1] Deng, Da., "Li-ion Batteries: Basics, Progress, and Challenges", *Energy Science and Engineering*;3(5):385-418, 2015.
- [2] Karami, Nabil, dan Nazih M., "Smart Battery Charger Using a Bridgeless Boost AC/DC Converter", *IEEE*, 2014.
- [3] Rashid, Muhammad., "Power Electronics Handbook 4th edition", *Elservier Inc.*, 2018.
- [4] Pyakuryal, Sudeep, dan Mohammad Matin., "Filter Design for AC to DC Converter", *International Refereed*

- Journal of Engineering and Science (IRJES), Vol. 2, Issue 6, pp.42-49, 2013.
- [5] Tan, Rodney H.G., dan Landon Y.H.Hoo., "DC-DC Converter Modelling and Simulation using State Space Approach", IEEE, 2015.
- [6] Nguyen, Van-Sang, Van-Long Tran, Woojin Choi, dan Dae-wook Kim., "Analysis of the Output Ripple of the DC-DC Boost Charger for Li-ion Batteries", Journal of Power Electronics, Vol. 14, No. 1, pp. 135-142, 2014.
- [7] Liu, Kailong, Kang Li, Qiao Peng, dan Cheng Zhang., "A brief review on key technologies in the battery management system of electric vehicles", Researchgate, 2018.
- [8] Blinov, Andrei, Ievgen Verbytskyi, Denys Zichenko, Dmitri Vinnikov, dan Ilya Galkin., "Modular Battery Charger for Light Electric Vehicles", energies, 2020.
- [9] Asiri, Yahya, dan Mohamed Shwehdi., "Performance of Single Phase Full Wave Rectifier Controlled by PWM", Researchgate, 2007.
- [10] Hart, Daniel W., "Power Electronics", Mc-Graw-Hill, Inc., 2011.
- [11] Halliday, David, Robert Resnick, dan Jearl Walker., "Fundamentals Of Physics 10th Edition", John Wiley & Sons, Inc., 2014.
- [12] Silver, Ward, dan Mark Wilson., "The ARRL Extra Class License Manual 9th edition", American Radio Relay League, 2008.
- [13] O'Malley, John., "Schaum's Outline of Theory and Problems of Basic Circuit Analysis", McGraw-Hill, Inc., 1992.
- [14] Preston, David C., Barbara E. Shapiro., "Electromyography and Neuromuscular Disorders: Clinical-Electrophysiologic-Ultrasound Correlations", Elsevier Inc., 2020.