

PERANCANGAN SISTEM CHARGING BATERAI MENGGUNAKAN DC-DC BUCK CONVERTER METODE CONSTANT CURRENT (CC) DAN CONSTANT VOLTAGE (CV)

Bhaskara Wisnu Ardli Mahardika^{*)}, Trias Andromeda dan Sudjadi

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

^{*)E-mail : bhaskara_wisnu@student.undip.ac.id}

Abstrak

Saat ini, baterai merupakan suatu alat menjadi kebutuhan penting bagi manusia. Teknologi rechargeable battery atau baterai isi ulang pun semakin membantu dalam memenuhi kebutuhan manusia. Proses pengisian pada baterai isi ulang dilakukan dengan mengalirkan arus terus-menerus hingga tegangan pada baterai bertambah sampai nilai tertentu tanpa berlebihan karena pengisian yang berlebihan dapat merusak baterai sehingga baterai tak dapat bertahan lama. Oleh karena itu, maka diperlukan spesifikasi pengisian yang tepat pada setiap baterai agar baterai tidak berlebihan saat dilakukan pengisian. Ada beberapa metode dalam pengisian normal baterai, salah satunya adalah CC-CV (Constant Current - Constant Voltage) yaitu metode pengisian baterai dengan mengkombinasikan Constant Current dan Constant Voltage secara bergantian. Oleh karena itu pada penelitian ini penulis meneliti tentang rancang bangun sistem pengisian baterai menggunakan DC-DC Buck Converter dengan metode Constant Current (CC) dan Constant Voltage (CV) berbasis mikrokontroler Arduino Nano dengan bantuan umpan balik dari sensor arus dan sensor tegangan. Sistem pengisian baterai ini dapat diatur untuk melakukan Constant Current (CC) dengan nilai 0 – 5 A dan Constant Voltage (CV) dengan nilai 0 – 15 V_{DC}. Berdasarkan hasil pengujian tanpa umpan balik nilai efisiensi rata-rata DC-DC buck converter sebesar 86.06 %.

Kata kunci: baterai isi ulang, DC-DC buck converter, Constant Current (CC), Constant Voltage (CV).

Abstract

Nowadays, batteries are an important device for humans. Rechargeable battery technology increasingly meets human needs. The process of charging a rechargeable battery is done by flowing continuously until the voltage on the battery increases to a certain value without overcharging it because overcharging can damage the battery so the battery isn't durable. Therefore, proper charging specifications are needed for each battery so that the battery does not overcharge. There are several methods of charging normal batteries, one of methods is CC-CV (Constant Current - Constant Voltage), which is the method of charging batteries by combining Constant Current and Constant Voltage alternately. Therefore in this study the authors examined the design of battery charging systems using DC-DC Buck Converter with the Constant Current (CC) and Constant Voltage (CV) methods based on Arduino Nano microcontrollers with the help of feedback from current sensors and voltage sensors. This battery charging system can be set to do Constant Current (CC) with a value of 0 - 5 A and Constant Voltage (CV) with a value of 0 - 15 V_{DC}. Based on the test results without feedback the average efficiency value of DC-DC buck converter is 86.06%.

Keywords: rechargeable battery, DC-DC buck converter, Constant Current (CC), Constant Voltage (CV).

1. Pendahuluan

Saat ini, baterai merupakan suatu alat menjadi kebutuhan penting bagi manusia. Teknologi *rechargeable battery* atau baterai isi ulang pun semakin membantu dalam memenuhi kebutuhan manusia. Proses pengisian pada baterai isi ulang dilakukan dengan mengalirkan arus terus-menerus hingga tegangan pada baterai bertambah sampai nilai tertentu tanpa berlebihan [1] karena pengisian yang berlebihan dapat merusak baterai sehingga baterai tak dapat bertahan

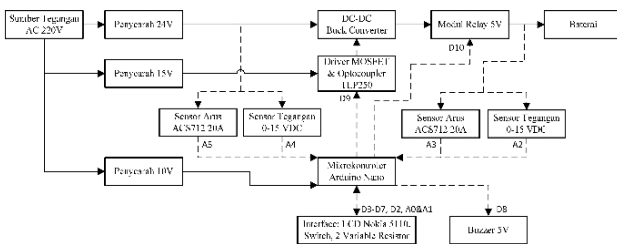
lama. Oleh karena itu, maka diperlukan spesifikasi pengisian yang tepat pada setiap baterai agar baterai tidak berlebihan saat dilakukan pengisian.

Ada beberapa metode dalam pengisian normal baterai, salah satunya adalah CC-CV (*Constant Current -Constant Voltage*) yaitu metode pengisian baterai dengan mengkombinasikan *Constant Current* (CC) dan *Constant Voltage* (CV) secara bergantian [2][3]. Oleh karena itu pada penelitian ini penulis meneliti tentang rancang bangun sistem pengisian baterai menggunakan DC-DC

buck converter [4] dengan metode *Constant Current (CC)* dan *Constant Voltage (CV)* berbasis mikrokontroler Arduino Nano melalui perantara IC TLP250 sebagai MOSFET driver dan optocoupler [5].

2. Metode

Perangkat keras yang digunakan dalam perancangan Tugas Akhir ini terdiri atas; rangkaian penyearah (*rectifier*), rangkaian DC-DC *buck converter*, rangkaian driver MOSFET dan optocoupler TLP250, rangkaian kontrol dan baterai sebagai *output*. Diagram blok alat dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram alat

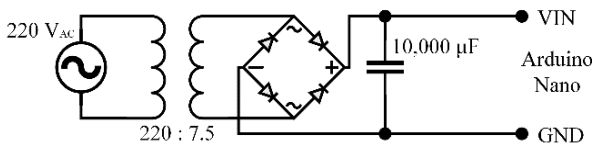
2.1. Penyearah (*Rectifier*)

2.1.1. Penyearah Rangkaian Kontrol Arduino Nano

Penyearah menggunakan trafo 1 A dengan perbandingan 220 V_{AC} banding 7.5 V_{AC}. Persamaan 1 digunakan untuk mendapatkan nilai kapasitor yang digunakan [6].

$$C = \frac{I}{V_{rms} \cdot 4 \cdot f} = \frac{10}{7.5 \cdot 4 \cdot 50} = 6666.67 \mu F \quad (1)$$

Kapasitor dengan nilai tepat 6666.67 μF sulit untuk ditemukan dipasaran sehingga dipilih kapasitor dengan nilai yang lebih besar yaitu 10,000 μF dengan tegangan maksimal sampai dengan 100 V_{DC}. Gambar 2 merupakan rangkaian penyearah untuk rangkaian kontrol Arduino Nano.



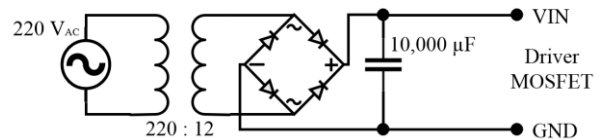
Gambar 2. Rangkaian penyearah untuk rangkaian kontrol Arduino Nano [7]

2.1.2. Penyearah Rangkaian Driver MOSFET dan Optocoupler TLP250

Penyearah menggunakan trafo 1 A dengan perbandingan 220 V_{AC} banding 12 V_{AC}. Persamaan 2 digunakan untuk mendapatkan nilai kapasitor yang digunakan [6].

$$C = \frac{I}{V_{rms} \cdot 4 \cdot f} = \frac{10}{12 \cdot 4 \cdot 50} = 4166.67 \mu F \quad (2)$$

Kapasitor dengan nilai tepat 4166.67 μF sulit untuk ditemukan dipasaran sehingga dipilih kapasitor dengan nilai yang lebih besar yaitu 10,000 μF dengan tegangan maksimal sampai dengan 50 V_{DC}. Gambar 3 merupakan rangkaian penyearah untuk rangkaian driver MOSFET dan optocoupler TLP250.



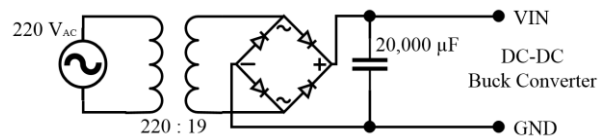
Gambar 3. Rangkaian penyearah untuk rangkaian driver MOSFET dan optocoupler TLP250 [7]

2.1.3. Penyearah Rangkaian DC-DC Buck Converter

Penyearah menggunakan trafo 5 A dengan perbandingan 220 V_{AC} banding 19 V_{AC}. Persamaan 3 digunakan untuk mendapatkan nilai kapasitor yang digunakan [6].

$$C = \frac{I}{V_{rms} \cdot 4 \cdot f} = \frac{50}{19 \cdot 4 \cdot 50} = 13,157.89 \mu F \quad (3)$$

Kapasitor dengan nilai tepat 13,157.89 μF sulit untuk ditemukan dipasaran sehingga dipilih kapasitor dengan nilai yang lebih besar yaitu 20,000 μF . Gambar 4 merupakan rangkaian penyearah untuk rangkaian DC-DC *buck converter*.



Gambar 4. Rangkaian penyearah untuk rangkaian DC-DC buck converter [7]

2.2. DC-DC Buck Converter

DC-DC *buck converter* memiliki karakteristik utama yang dapat menurunkan tegangan *input* yang lebih tinggi, sehingga tegangan pada sisi *output* dapat diatur [8]. Tabel 1 merupakan parameter DC-DC *buck converter* yang akan digunakan.

Tabel 1. Parameter DC-DC Buck Converter

Parameter	Nilai Besaran
Tegangan <i>input</i>	24 V _{DC}
Tegangan <i>output</i>	0 – 15 V _{DC}
Arus <i>output</i>	0 – 5 A
Induktansi pada induktor	100 μH 6A
Arus ripple pada induktor (ΔI_L)	10% x Arus <i>output</i> = 0.5 A
Tegangan ripple pada kapasitor (ΔV_{Cout})	0.1 V _{DC}

Dari Tabel 1 diatas, maka dicari parameter-parameter lain yang akan digunakan dalam DC-DC *buck converter*.

2.2.1. Induktor

Pada Tugas Akhir ini, dipilihlah induktor berjenis toroid berukuran 100 μ H dengan arus maksimal sebesar 6 A yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Induktor Toroid 100 μ H 6 A

2.2.2. Frekuensi Pemicuan MOSFET

Persamaan 4 digunakan untuk menentukan frekuensi pemicuan MOSFET dalam DC-DC buck converter [4].

$$f_{sw} = \frac{V_{out} \cdot (1-1.1D)}{L \cdot \Delta I_{L1}} = \frac{15 \cdot (1-1.1 \times 0.625)}{100 \times 10^{-6} \cdot 0.5} = 93.75 \text{ KHz} \quad (4)$$

Dari Persamaan 4 didapat nilai frekuensi yang digunakan untuk pemicuan MOSFET dalam rangkaian DC-DC buck converter adalah 93.75 KHz. Dikarenakan nilai induktansi pada induktor dipasaran dapat kurang dari nilai aslinya, maka frekuensi pemicuan yang akan dihasilkan oleh mikrokontroler akan dicoba dari 93.75 KHz – 100 KHz sampai menemukan nilai yang dirasa tepat agar dihasilkan output yang stabil.

2.2.3. Kapasitor Output

Kapasitor dalam rangkaian DC-DC buck converter berfungsi untuk filter tegangan untuk mengurangi ripple tegangan yang disebabkan oleh switching MOSFET. Persamaan 5 digunakan untuk mendapatkan nilai kapasitor output pada DC-DC buck converter sebagai berikut [4].

$$C_{out} = \frac{1 - D}{\frac{\Delta V_{c_{out}}}{V_{out}} \cdot 8 \cdot L \cdot f_{sw}^2} = \frac{1 - 0.625}{\frac{0.1}{15} \cdot 8 \cdot 100 \times 10^{-6} \cdot 93750^2} = 8 \mu F \quad (5)$$

Dari Persamaan 5, didapatkan nilai kapasitor output untuk DC-DC buck converter sebesar 8 μ F, sehingga dipilih kapasitor dengan nilai kapasitas di atasnya yaitu sebesar 10 μ F dengan tegangan maksimum 50 V_{DC}.

2.2.4. MOSFET

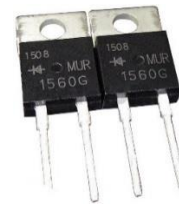
MOSFET yang dipilih adalah MOSFET bertipe IRFZ44N yang mampu bekerja pada tegangan 55 V_{DC} dan arus 49 A [9]. Gambar 6 merupakan bentuk MOSFET IRFZ44N dan Tabel 2 merupakan spesifikasi MOSFET IRFZ44N.



Gambar 6. MOSFET IRFZ44N

2.2.5. Dioda

Dioda yang digunakan dalam rangkaian DC-DC buck converter adalah Dioda MUR1560. Dioda ini merupakan dioda ultrafast dengan recovery time sebesar 60 ns yang memiliki spesifikasi tegangan sebesar 600 V_{DC} dan arus rata-rata sebesar 15 A. Dioda tersebut sudah mencukupi untuk diterapkan pada rangkaian DC-DC buck converter dengan tegangan dan arus output sebesar 15 V dan 5 A. Sedangkan untuk recovery time sebesar 60 ns sangat mencukupi untuk diterapkan pada rangkaian DC-DC buck converter dengan pemicuan MOSFET maksimal sebesar 100 KHz atau 10 μ s [10]. Gambar 7 merupakan bentuk Dioda MUR1560.



Gambar 7. Dioda MUR1560

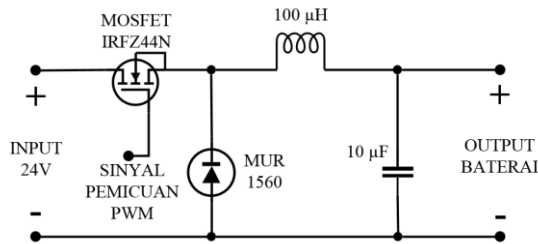
2.2.6. Rangkaian DC-DC Buck Converter

Dari parameter-parameter yang telah didapatkan diatas, maka diperoleh parameter lengkap DC-DC buck converter yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter lengkap DC-DC buck converter

Parameter	Nilai Besaran
Tegangan input	24 V _{DC}
Tegangan output	0 – 15 V _{DC}
Arus output	0 – 5 A
Induktansi pada induktor	100 μ H 6A
Arus ripple pada induktor (ΔI_L)	10% x Arus output = 0.5 A
Tegangan ripple pada kapasitor ($\Delta V_{c_{out}}$)	0.1 V _{DC}
Frekuensi pemicuan MOSFET (f_{sw})	93,750 Hz
Kapasitor output (C_{out})	10 μ F
MOSFET	IRFZ44N
Dioda	MUR1560

Dari Tabel 2 diatas maka didapat rangkaian DC-DC buck converter yang dapat dilihat pada Gambar 8.

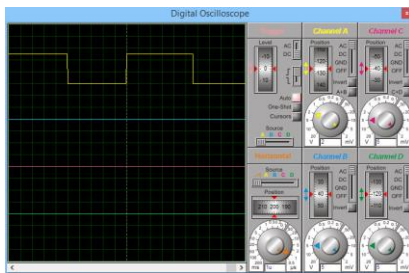


Gambar 8. Rangkaian DC-DC buck converter

2.3. Rangkaian Kontrol Arduino Nano

2.3.1. Arduino Nano

Pada Tugas Akhir ini, Arduino Nano diprogram untuk dapat bekerja pada frekuensi sebesar 93.75 KHz ~ 100 KHz dengan menggunakan library PWM Arduino yang dibuat oleh Sam Knight pada tahun 2012, dimana dengan library tersebut Arduino dapat menghasilkan sinyal PWM dengan frekuensi 1 Hz sampai 2Mhz untuk Arduino Nano [11]. Sehingga diperoleh hasil simulasi dengan software Proteus yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil simulasi pembangkitan sinyal PWM dengan Arduino Nano

Dari Gambar 9, terlihat tegangan *output* maksimum sinyal PWM sebesar 5 V_{DC}, nilai frekuensinya sebesar 93,896.71 Hz dan nilai duty cycle sebesar 0.53 yang dapat dilihat pada persamaan dibawah ini.

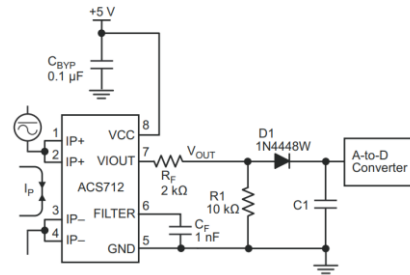
$$V_p = \text{div} \times \frac{V}{\text{div}} = 2.5 \times 2 = 5 \text{ V} \quad (6)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\text{div} \times \frac{T}{\text{div}}} = \frac{1}{10.65 \times 10^{-6}} = 93,896.71 \text{ Hz} \quad (7)$$

$$D = \frac{T_{\text{div_on}}}{T_{\text{div_total}}} = \frac{5.65}{10.65} = 0.53 \quad (8)$$

2.3.2. Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan dalam Tugas Akhir DC-DC buck converter ini adalah sensor arus ACS712 20A yang bekerja berdasarkan prinsip kerja *Hall Effect* [12]. Sensor arus ACS712 20 A memiliki sensitifitas sebesar 100 mV_{DC}/A dimana nilai tegangan saat mengalir arus sebesar 0 A adalah 2.5 V_{DC}. Dimana arus maksimal yang dihasilkan oleh DC-DC buck converter adalah 5 A sehingga sensor masih mampu membaca arus tersebut [13]. Rangkaian sensor arus ACS217 20 A dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Rangkaian sensor arus ACS217 20 A

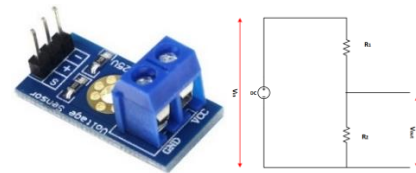
Sedangkan untuk mendapat nilai arus saat nilai pembacaan ADC pada Arduino Nano sebesar 600 dapat dilihat pada persamaan dibawah.

$$V_{in} = \frac{ADC \times V_{ref}}{1024} = \frac{600 \times 5}{1024} = 2.93 \text{ V} \quad (9)$$

$$\text{Arus} = \frac{V_{in} - 2.5}{\text{sensitifitas}} = \frac{2.93 - 2.5}{100 \times 10^{-3}} = 4.3 \text{ A} \quad (10)$$

2.3.3. Sensor Tegangan

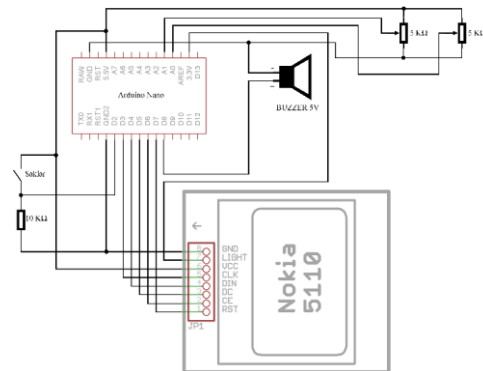
Modul sensor tegangan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini menggunakan rangkaian penurun tegangan dengan R1 sebesar 30 KΩ dan R2 sebesar 7.5 KΩ seperti yang terlihat pada Gambar 11 dibawah ini [14].



Gambar 11. Modul sensor tegangan 0-25V

2.3.4. Interface

Interface yang digunakan pada Tugas Akhir ini berfungsi untuk menampilkan beberapa data. Mode yang ditampilkan pada LCD saat mode *setting*, mode *charging* dan mode "Battery Full". Gambar 12 dibawah ini merupakan rangkaian *interface* yang digunakan pada Tugas Akhir kali ini, sedangkan.



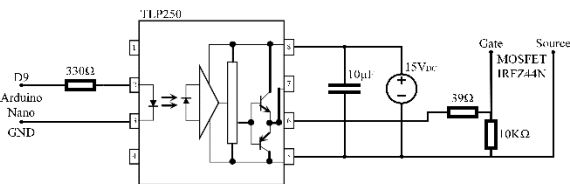
Gambar 12. Rangkaian Interface Alat

2.4. Rangkaian Driver MOSFET dan Optocoupler TLP250

Rangkaian TLP250 digunakan sebagai *driver* MOSFET dan *optocoupler*, selain itu juga digunakan untuk menguatkan sinyal PWM yang keluar dari Arduino yang sebesar 5 V_{DC} menjadi 15 V_{DC}. Spesifikasi TLP250 dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini. Gambar 13 merupakan rangkaian TLP250 yang digunakan untuk Tugas Akhir ini.

Tabel 3. Spesifikasi TLP250 [5]

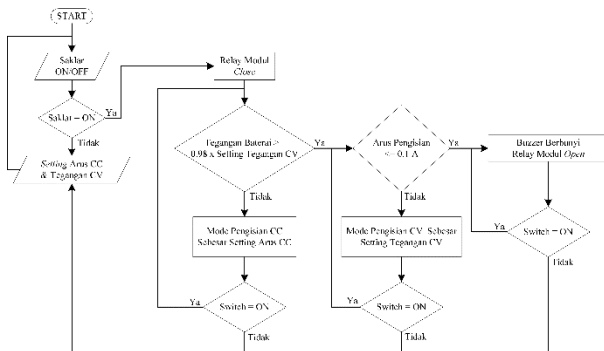
Parameter	Symbol	Nilai Besaran
Max. Input Current	I _F	Max. 20 mA
Input forward voltage	V _F	1.6 V _{DC}
Supply voltage	V _{CC}	15 – 30 V _{DC}
Peak output current	I _{OPH} /I _{OPL}	± 0.5 A
Propagation Delay time	T _{pLH}	Typ. 0.15 μs, Max 0.5 μs
	T _{pHL}	Typ. 0.15 μs, Max 0.5 μs



Gambar 13. Rangkaian TLP250

2.5. Algoritma Pengisian Baterai

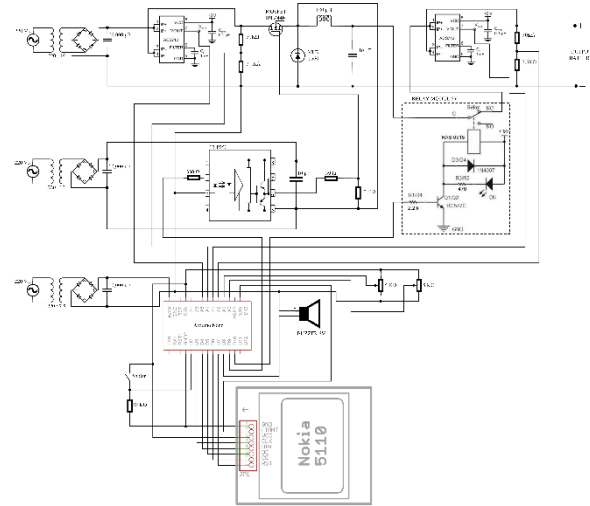
Nilai tegangan dan arus yang mengalir ke baterai akan dibaca oleh sensor yang akan digunakan oleh mikrokontroler Arduino Nano untuk menentukan *dutycyclenya*. Flowchart algoritma pengisian baterai dalam Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 14 dibawah ini.



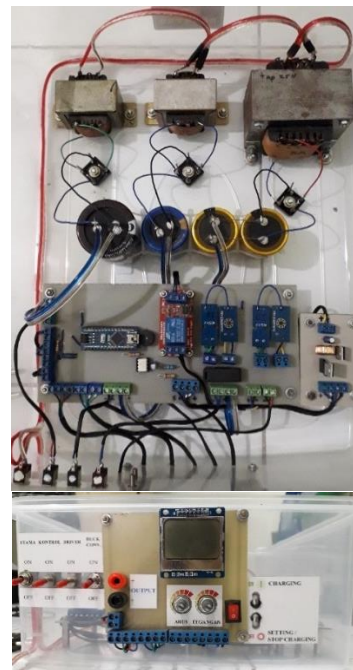
Gambar 14. Flowchart algoritma pengisian baterai

Flowchart pada Gambar 14 diatas menunjukkan terjadi dua jenis pengisian baterai pada Tugas Akhir ini, yaitu pengisian *Constant Current* (CC) dimana pengisian dijaga dengan arus konstan sebesar *setting* dan pengisian *Constant Voltage* (CV) dimana pengisian dijaga dengan tegangan konstan sebesar *setting* sampai baterai terisi

penuh. Dibawah ini terdapat Gambar 15 yang menjelaskan skema keseluruhan rangkaian dan Gambar 16 memperlihatkan implementasi keseluruhan rangkaian.



Gambar 15. kema keseluruhan rangkaian pengisian baterai DC-DC buck converter

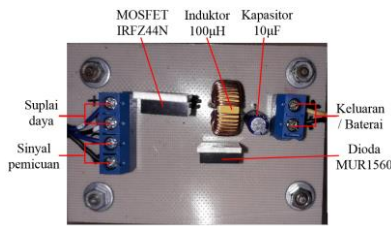


Gambar 16. Implementasi keseluruhan rangkaian sistem charging baterai

3. Hasil dan Analisis

3.1. Hasil Pengujian Rangkaian DC-DC Buck Converter

Implementasi rangkaian DC-DC *buck converter* dapat dilihat pada Gambar 17.

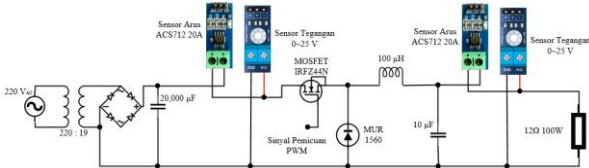


Gambar 17. Implementasi rangkaian DC-DC buck converter

3.1.1. Tanpa Umpan Balik

Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai efisiensi pada DC-DC buck converter itu sendiri melalui duty cycle yang divariasikan, sehingga Arduino Nano terbukti dapat menghasilkan sinyal PWM. Efisiensi DC-DC buck converter dapat dihitung dengan cara membandingkan daya output dan daya input dari DC-DC buck converter dengan beban pengujian yang digunakan sebesar 12 Ω 100 W dengan menggunakan Persamaan 11 dibawah ini. Sedangkan rangkaian pengujian DC-DC buck converter tanpa umpan balik dapat dilihat pada Gambar 18 dibawah ini.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out} \cdot I_{out}}{V_{in} \cdot I_{in}} \quad (11)$$



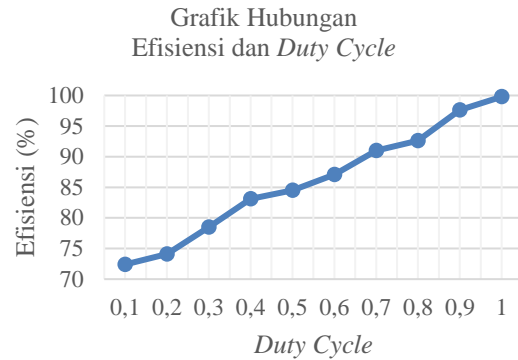
Gambar 18. Rangkaian pengujian DC-DC buck converter tanpa umpan balik

Dengan memvariasikan duty cycle sinyal pemucuan PWM, maka didapatkan data pengujian DC-DC buck converter tanpa umpan balik yang dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Pengujian DC-DC buck converter tanpa umpan Balik

DC	INPUT			OUTPUT			Efisiensi (%)
	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	
0.1	22.1	0.01	0.22	1.6	0.1	0.16	72.39
0.2	21.6	0.06	1.29	4	0.24	0.96	74.07
0.3	21.3	0.12	2.55	5.9	0.34	2.00	78.48
0.4	20.9	0.22	4.59	7.8	0.49	3.82	83.12
0.5	20.5	0.36	7.38	9.9	0.63	6.23	84.51
0.6	20.2	0.46	9.29	11.9	0.68	8.09	87.08
0.7	19.7	0.57	11.22	13.1	0.78	10.21	90.99
0.8	19.3	0.85	16.40	15.5	0.98	15.19	92.59
0.9	18.7	0.95	17.76	17	1.02	17.34	97.60
1	18.6	1.14	21.20	18.4	1.15	21.16	99.79

Dari Tabel 4 diatas maka didapatkan nilai efisiensi rata-ratanya sebesar 86.06 %. Grafik perbandingan antara duty cycle dan efisiensi DC-DC buck converter yang dapat dilihat pada Gambar 19 dibawah ini.

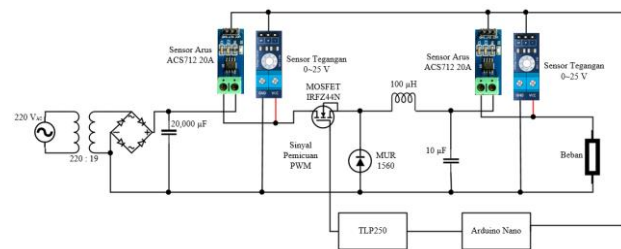


Gambar 19. Grafik duty cycle dan efisiensi DC-DC buck converter tanpa umpan balik

Dari Gambar 19 diatas dapat diketahui bahwa duty cycle berbanding lurus dengan efisiensi DC-DC buck converternya. Efisiensi yang rendah pada saat duty cycle kecil disebabkan karena Arus yang melewati dioda MUR1560 akan menyebabkan tegangan drop yang menyebabkan rugi-rugi. Frekuensi yang digunakan dalam pengujian sudah ditetapkan yaitu sebesar 96 KHz.

3.1.2. Constant Current (CC) dengan Umpan Balik Arus

Pengujian dilakukan untuk membuktikan bahwa nilai arus keluaran DC-DC buck converter akan tetap sama saat nilai beban divariasikan. Gambar rangkaian pengujian Constant Current (CC) dengan umpan balik arus dapat dilihat pada Gambar 20 dibawah ini.



Gambar 20. Rangkaian pengujian Constant Current (CC) dengan umpan balik arus

Dengan memvariasikan beban pada rangkaian yang terlihat pada Gambar 20 diatas, maka didapatkan data pengujian Constant Current (CC) dengan umpan balik arus yang dapat dilihat pada Tabel 5.

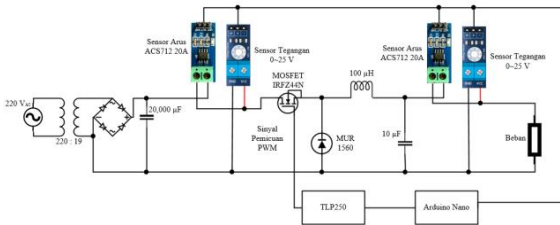
Dari Tabel 5 diatas, terlihat saat nilai beban divariasikan, nilai arus output dapat terjaga pada nilai 0.4 A sedangkan nilai tegangan output dan duty cycle bervariasi karena untuk mendapatkan nilai arus output yang sama.

Tabel 5. Pengujian Constant Current (CC) dengan umpan balik arus

DC	INPUT			OUTPUT			η (%)	Ω
	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)		
0.22	21.5	0.09	1.93	3.6	0.39	1.40	72.55	6
0.33	21.3	0.15	3.19	6.4	0.41	2.62	82.12	12
0.44	21.2	0.2	4.24	9	0.41	3.69	87.02	18
0.56	21.1	0.26	5.48	11.9	0.4	4.76	86.76	24
0.69	20.9	0.3	6.27	14.2	0.39	5.53	88.32	30

3.1.3. Constant Voltage (CV) dengan Umpan Balik Tegangan

Pengujian dilakukan untuk membuktikan bahwa nilai tegangan keluaran DC-DC buck converter akan tetap sama saat nilai beban divariasikan Gambar rangkaian pengujian Constant Voltage (CV) dengan umpan balik tegangan dapat dilihat pada Gambar 21 dibawah ini.



Gambar 21. Rangkaian pengujian Constant Voltage (CV) dengan umpan balik tegangan

Dengan memvariasikan beban pada rangkaian yang terlihat pada Gambar 21 diatas, maka didapatkan data pengujian Constant Voltage (CV) dengan umpan balik tegangan yang dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6. Pengujian Constant Voltage (CV) dengan umpan balik tegangan

DC	INPUT			OUTPUT			η (%)	Ω
	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)		
0.78	17.4	1.14	19.83	6	1.37	18.33	92.41	6
0.71	19.1	0.65	12.41	12	0.85	11.39	91.81	12
0.69	20.1	0.42	8.44	18	0.57	7.64	90.61	18
0.68	20.3	0.32	6.49	24	0.43	5.75	88.63	24
0.66	20.5	0.29	5.94	30	0.39	5.21	87.7	30

Dari Tabel 6 diatas, terlihat saat nilai beban divariasikan, nilai tegangan output dapat terjaga pada nilai 13.4 A sedangkan nilai arus output bervariasi karena nilai beban yang berbeda-beda. Dari Tabel 7 diatas juga terlihat bahwa nilai efisiensi berbanding terbalik dengan beban, berbanding lurus juga dengan duty cycle karena pada saat beban rendah nilai arus yang tinggi menyebabkan rugi-rugi pada dioda juga tinggi, sehingga duty cycle juga tinggi.

3.2. Pengujian Pengisian Baterai Aki atau Accumulator 12 V_{DC}

Pengujian pengisian baterai aki atau accumulator dilakukan ketika baterai dalam keadaan State of Charge (SOC) sebesar 50% ~ 60% yang berarti saat tegangan baterai memiliki nilai 12.06 ~ 12.20 V_{DC} [15]. Pemilihan tersebut bertujuan untuk memperpanjang umur baterai. Seperti yang terlihat pada Gambar 22 dibawah ini, pengujian menggunakan baterai aki atau accumulator dengan kapasitas 5 Ah.



Gambar 22. Baterai aki atau accumulator yang diuji

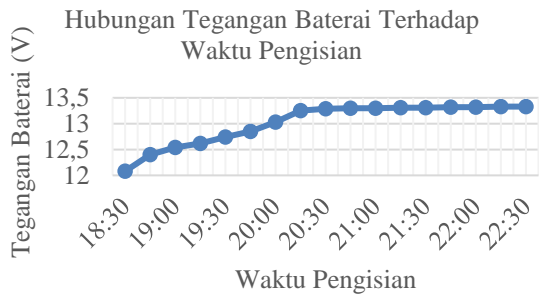
3.2.1. Pengisian dengan Setting Constant Current (CC) 0.7 A dan Constant Voltage (CV) 13.33 V_{DC}

Pada pengujian ini tegangan awal baterai sebesar 12.08 V_{DC}. Kemudian baterai aki atau accumulator tersebut akan dilakukan pengisian dengan metode CC-dengan setting 0.7 A dan 13.3 V_{DC}. Hasil pengujian pengisian baterai aki atau accumulator 12V_{DC} dapat dilihat pada Tabel 7 dibawah ini.

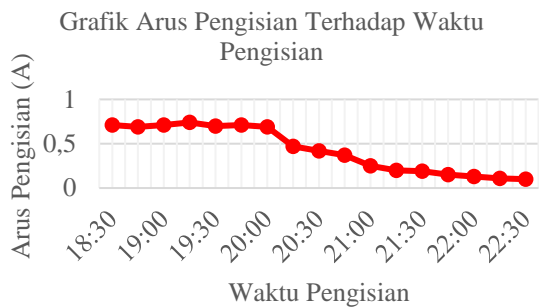
Tabel 7. Hasil pengujian pengisian baterai aki atau accumulator 12V_{DC}

Waktu	Arus (A)	V _{Chrg} (V _{DC})	V _{Batt} (V _{DC})	DC
18:30	0.71	12.55	12.08	0.61
18:45	0.69	12.65	12.4	0.61
19:00	0.71	12.75	12.54	0.62
19:15	0.74	12.88	12.62	0.62
19:30	0.7	13.01	12.74	0.62
19:45	0.71	13.09	12.85	0.63
20:00	0.69	13.23	13.03	0.63
20:15	0.47	13.25	13.25	0.65
20:30	0.42	13.29	13.29	0.63
20:45	0.37	13.3	13.3	0.62
21:00	0.25	13.3	13.3	0.61
21:15	0.2	13.31	13.31	0.61
21:30	0.19	13.31	13.31	0.59
21:45	0.15	13.32	13.32	0.56
22:00	0.13	13.32	13.32	0.51
22:15	0.11	13.31	13.33	0.49
22:30	0.1	13.32	13.33	0.48

Dari Tabel 7 diatas, terlihat bahwa nilai arus yang digunakan saat pengisian baterai dengan metode Constant Current (CC) beresilasi sangat kecil dan mendekati nilai 0.7 A. Kemudian saat pengisian baterai berubah metode ke Constant Voltage (CV) nilai tegangan dijaga tetap dengan nilai yang tidak jauh dari 13.3 V_{DC}. Grafik perubahan tegangan baterai terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 23. Sedangkan grafik perubahan arus pengisian terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 25 dibawah ini.



Gambar 23. Grafik perubahan tegangan baterai terhadap waktu pengisian



Gambar 24. Grafik perubahan arus pengisian bateraiterhadap waktu pengisian

Berdasarkan Gambar 23, terlihat bahwa tegangan baterai aki atau accumulator naik dari 12.08 V_{DC} pada pukul 18:30 sampai 13.23 V_{DC} pada pukul 20:00. Pengisian baterai kemudian berubah dari *Constant Current* (CC) ke *Constant Voltage* (CV) dengan nilai tegangan dijaga konstan pada nilai 13.3 V_{DC}.

Berdasarkan Gambar 24, terlihat bahwa pada pengisian baterai aki atau accumulator dari pukul 18:30 sampai pukul 20:00 arus pengisian baterai dijaga konstan pada nilai 0.7 A. Pengisian baterai kemudian berubah dari *Constant Current* (CC) ke *Constant Voltage* (CV) dengan nilai tegangan dijaga konstan pada nilai 13.3 V_{DC} sehingga arus pengisian terus menurun mendekati nilai 0 A. Pengisian kemudian terjadi *cut-off* pada pukul 22:30 arus pengisian terus menurun hingga menyentuh 0.1 A.

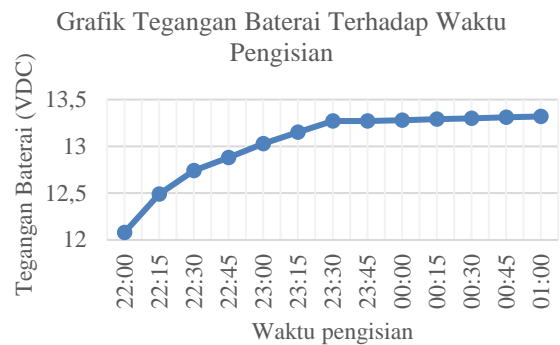
3.2.2. Pengisian dengan Setting Constant Current (CC) 1 A dan Constant Voltage (CV) 13.33 V_{DC}

Pada pengujian ini tegangan awal baterai sebesar 12.01 V_{DC}. Kemudian baterai aki atau accumulator tersebut akan dilakukan pengisian dengan metode CC-CV dengan setting 1 A dan 13.3 V_{DC}. Hasil pengujian pengisian baterai aki atau accumulator 12V_{DC} dapat dilihat pada Tabel 8 dibawah ini.

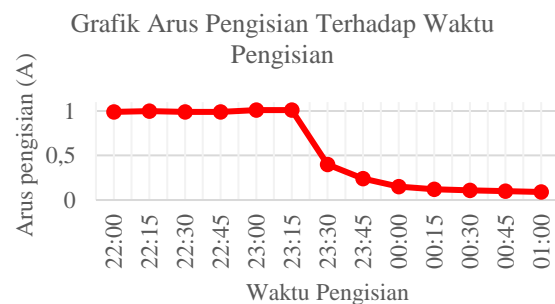
Tabel 8. Hasil pengujian pengisian baterai aki atau accumulator 12V_{DC}

Waktu	Arus (A)	V _{Chrg} (V _{DC})	V _{Batt} (V _{DC})	Duty Cycle
22:00	0.99	12.5	12.08	0.8
22:15	1	12.82	12.49	0.81
22:30	0.99	13.11	12.74	0.83
22:45	0.99	13.26	12.88	0.84
23:00	1.01	13.48	13.03	0.85
23:15	1.01	13.72	13.15	0.86
23:30	0.4	13.27	13.27	0.45
23:45	0.24	13.27	13.27	0.43
0:00	0.15	13.28	13.28	0.41
0:15	0.12	13.29	13.29	0.41
0:30	0.11	13.3	13.3	0.41
0:45	0.1	13.31	13.31	0.4
1:00	0.09	13.32	13.32	0.4

Dari Tabel 8 diatas, terlihat bahwa nilai arus yang digunakan saat pengisian baterai dengan metode *Constant Current* (CC) beresilasi sangat kecil dan mendekati nilai 1 A. Kemudian saat pengisian baterai berubah metode ke *Constant Voltage* (CV) nilai tegangan dijaga tetap dengan nilai yang tidak jauh dari 13.3 V_{DC}. Grafik perubahan tegangan baterai terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 4.37. Sedangkan grafik perubahan arus pengisian terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Grafik perubahan tegangan baterai terhadap waktu pengisian



Gambar 26. Grafik perubahan arus pengisian baterai terhadap waktu pengisian

Berdasarkan Gambar 25, saat pengisian baterai menggunakan metode *Constant Current* (CC) terlihat bahwa tegangan baterai aki atau *accumulator* naik dari 12.08 V_{DC} pada pukul 22.00 sampai 13.15 V_{DC} pada pukul 23:15. Pengisian baterai kemudian berubah dari *Constant Current* (CC) ke *Constant Voltage* (CV) dengan nilai tegangan dijaga konstan pada nilai 13.3 V_{DC}. Pengisian kemudian terjadi *cut-off* pada pukul 1:00 yang menandakan baterai telah terisi penuh.

Berdasarkan Gambar 26, saat pengisian baterai menggunakan metode *Constant Current* (CC) terlihat bahwa pada pengisian baterai aki atau *accumulator* dari pukul 22:00 sampai pukul 23:15 arus pengisian baterai dijaga konstan pada nilai 1 A. Pengisian baterai kemudian berubah dari *Constant Current* (CC) ke *Constant Voltage* (CV) dengan nilai tegangan dijaga konstan pada nilai 13.3 V_{DC} sehingga arus pengisian terus menurun mendekati nilai 0 A. Pengisian kemudian terjadi *cut-off* pada pukul 1:00 yang menandakan baterai telah terisi penuh saat arus pengisian terus menurun hingga menyentuh 0.09 A.

Dari penjelasan diatas, dapat disimpulkan bahwa charger baterai dengan metode *Constant Current* (CC) dan *Constant Voltage* (CV) menggunakan DC-DC *buck converter* dapat berjalan dengan baik dan telah bekerja sesuai dengan *setting* nilai *Constant Current* (CC) dan *Constant Voltage* (CV) yang diinputkan. Dari Tabel 7 dan Tabel 8, semakin besar nilai *setting* arus pengisian maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *cut-off* semakin kecil. Kondisi baterai dikatakan baik karena tegangan baterai saat penuh melebihi 12.4 VDC, tepatnya pada tegangan 13.2 VDC [16].

4. Kesimpulan

Sistem pengisian baterai menggunakan DC-DC *buck converter* dengan metode *Constant Current* (CC) dan *Constant Voltage* (CV) berbasis mikrokontroler Arduino Nano telah berhasil melakukan pengisian baterai yang dibuktikan dengan pengujian pengisian baterai aki dengan *setting* arus *Constant Current* (CC) sebesar 0.7 A dan 1 A dengan *setting* tegangan *Constant Voltage* (CV) sebesar 13.3 V_{DC}.

Referensi

- [1]. Kiehne, H. A, Battery Technology Handbook. Breckerfeld, Germany: MARCEDLE KKEIRN,C. 2003.
- [2]. Mikitaka Tamai, Sumoto, Rechargeable Battery Charging Method. Osaka: United States Patent. 1995.
- [3]. Simpson, Chester, Battery Charging. Dallas, Texas: Texas Instruments. 2011.
- [4]. Ejury, Jens, Buck Converter Design. Durham: DN 2013-01 Infineon Technologies North America. 2013
- [5]. TOSHIBA. 2004. TLP250. TOSHIBA.
- [6]. Ave, W. Touhy. Filtering Paper. Lincolnwood: Illois Capacitor, INC. 2020
- [7]. Rashid, M. H, Power Electronics: Circuit, Devices, and Application. New Jersey: Pentice-Hall International Inc. 1993.
- [8]. W. H. Daniel, Power Electronic. Indiana, Valparasio Universtity:The Mcgraw-Hill Companies. 2011.
- [9]. INCHANGE Semiconductor, IRFZ44N POWER MOSFET. INCHANGE Semiconductor
- [10]. On Semiconductor. DIODA MUR1560 Datasheet. On Semiconductor.
- [11]. Microchip,2018,ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P. Microchip.
- [12]. Valleman, ACS712 Current Sensor 20A. Gavere: Valleman.
- [13]. Allegro MicroSystems, Inc. IC ACS712 Current Sensor. Massachusetts: Allegro MicroSystems, Inc.
- [14]. Shenzhen Global Technology Co., Ltd. 2015, Voltage Sensor Module. Shenzhen: Shenzhen Global Technology Co., Ltd.
- [15]. Devore, Donovan D, Battery Systems Overview.2011.<https://wiki.uiowa.edu/display/greenergy/Battery+Systems+Overview> (diakses pada tanggal 13 April 2020).
- [16]. Stoney DeGeyter, How to Tell if Your Battery Is Bad in 3 Easy Steps. BatteryStuff.com 2012. <https://www.batterystuff.com/blog/how-to-tell-if-your-battery-is-bad.html> (diakses pada tanggal 14 April 2020).