

## PERANCANGAN SISTEM DISCHARGING BATERAI MENGGUNAKAN METODE CONSTANT CURRENT DUMMY LOAD (CCDL)

Anggito Bustan Firdausyah<sup>\*)</sup>, Trias Andromeda dan Sudjadi

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

<sup>\*)</sup>E-mail: [anggitobustan98@gmail.com](mailto:anggitobustan98@gmail.com)

### Abstrak

Pada era modern yang serba teknologi ini, keberadaan baterai sangatlah penting dan erat hubungannya dalam kehidupan manusia. Untuk mengetahui sehat atau tidaknya suatu baterai, dapat menggunakan cara pengisian (charging) dan pembebanan (discharging) yang disesuaikan dengan spesifikasi data pabrikan baterai yang akan diuji. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai pengujian baterai dengan cara pembebanan (discharging) yang menggunakan metode Constant Current Dummy Load (CCDL). CCDL merupakan beban yang digunakan untuk menarik arus secara konstan dari sumber listrik, namun tidak seperti beban resistif konvensional, "dummy load" mampu memvariasikan arus pembebanan yang akan ditariknya dengan mengubah nilai beban secara otomatis hingga arusnya mencapai konstan. Untuk mampu menarik arus beban hingga konstan, maka dilakukan perhitungan tertentu pada tiap komponen yang akan digunakan. Perhitungan lamanya waktu pembebanan baterai juga menjadi tolak ukur sehat atau tidaknya suatu baterai berdasar pada arus pembebanan yang telah disetting. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus pembebanan dapat ditarik dari baterai ke beban secara konstan dengan rentang arus 0-10A dan tegangan baterai maksimum 25V. Ketika dilakukan penarikan arus dari baterai, alat mampu menyesuaikan secara otomatis nilai arus pembebanan yang mengalir sama dengan nilai arus setting awal, sehingga alat mampu menguji kualitas baterai berdasarkan spesifikasi kapasitas dari baterai.

*Kata kunci: Constant Current Dummy Load (CCDL), baterai, pembebanan*

### Abstract

In this modern era of technology, the existence of batteries are very important and closely related to human life. To find out whether a battery is healthy or not, it can use charging and discharging methods adjusted to the data specifications of battery manufacturer will be tested. This research will discuss the discharging of battery by using the Constant Current Dummy Load (CCDL) method. CCDL is a load that is used to draw current constantly from a power source, but unlike conventional resistive loads, "dummy load" is able to vary the current that will be drawn by changing the load value automatically until the current reaches a constant. To be able to pull the current achieve constant, particular calculations are performed on each component to be used. Calculation the length of discharging time are also be a gauge whether healthy or not a battery based on the current previously set. The results of research show that the current can be pulled from the battery to load constantly with a current range 0-10A and the maximum battery voltage is 25V. When the current is withdrawn from the battery, the device is able to automatically adjust the value of current that flows through the device as same as the initial setting current, so that the device is able to test the quality of the battery based on the battery capacity specification.

*Keywords: Constant Current Dummy Load (CCDL), battery, discharging*

### 1. Pendahuluan

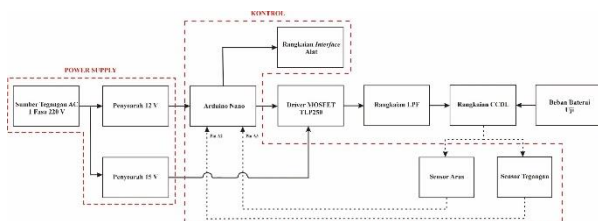
Baterai merupakan suatu komponen penyimpanan sumber energi listrik arus searah yang dapat menahan energi listrik melalui proses kimiawi [1], sehingga energi listrik tersebut dapat digunakan di waktu yang lain. Saat ini penggunaan baterai dapat dikatakan sangat penting dengan melihat perkembangan teknologi saat ini, yang mana banyak perangkat elektronik menggunakan baterai sebagai sumber

kelistrikannya. Kapasitas baterai merupakan kemampuan baterai untuk menyimpan energi listrik atau besarnya energi yang dapat disimpan dan dikeluarkan oleh baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam satuan *ampere hours* (Ah) [2][3], misalkan kapasitas baterai 10 Ah 12 Volt artinya secara ideal arus yang dapat dikeluarkan sebesar 10 A selama 1 jam pemakaian (*discharging*) [4]. Besar kecilnya voltase baterai ditentukan oleh besar/banyak sedikitnya sel baterai yang tertanam di dalamnya.

Spesifikasi pada baterai seperti kapasitas (Ah), voltase baterai (V), dan *hours rating* (Hr) dari kapasitas baterai dibuat sebagai standar kondisi baterai dalam keadaan ideal dan sehat. Untuk mengetahui kondisi sel baterai atau sumber energi listrik lain masih dalam keadaan sehat atau tidak, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah pemakaian/pembebanan (*discharging*) dengan menggunakan beban listrik secara elektronik (MOSFET) [5]. Mengingat pentingnya mengetahui kondisi baterai sebagai bagian dari peralatan elektronika saat ini, maka dilakukan penelitian Perancangan Sistem *Discharging* Baterai Menggunakan Metode *Constant Current Dummy Load* (CCDL). Pengertian dari *dummy load resistor* sendiri adalah suatu beban yang memiliki nilai resistansi padat dengan mekanisme keselamatan tertentu untuk memberikan beban resistif baik secara konstan maupun variasi nilainya.

## 2. Perancangan Alat

Pada tahap ini akan dibahas perancangan perangkat keras sistem secara keseluruhan yang terdiri atas rangkaian penyearah (*rectifier*) dari suplai AC 220 V, rangkaian *Constant Current Dummy Load* (CCDL), rangkaian RC *Low Pass Filter*, rangkaian *driver* MOSFET, rangkaian kontrol, sensor arus, sensor tegangan, dan rangkaian beban. Blok diagram perancangan Tugas Akhir ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Perancangan Perangkat Keras

### 2.1. Penyearah (*Rectifier*)

#### 2.1.1. Perancangan Rangkaian Penyearah Arduino Nano

Penyearah rangkaian kontrol menggunakan penyearah gelombang penuh dengan trafo. Pada penyearah ini komponen dioda bridge digunakan untuk menyearahkan keluaran trafo 9 VAC dari sumber 220 VAC. Penyearah ini masih memiliki faktor *ripple* (riak) tegangan, untuk mengurangi riak tegangan ini diperlukan *filter capacitor*. Untuk menghitung nilai kapasitor digunakan Persamaan 1 [6].

$$C = \frac{I}{V_{rms} \cdot 4 \cdot f} \quad (1)$$

Dimana,

$V_{rms}$  : Tegangan efektif (volt)

$I$  : Arus yang melewati (mA)

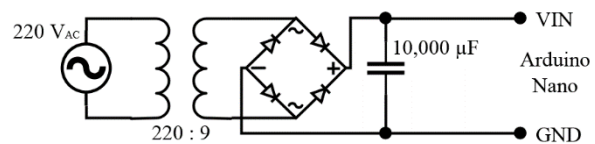
$f$  : Frekuensi gelombang tegangan (Hz)

$C$  : Nilai tapis kapasitor (farrad)

Nilai tegangan efektif ( $V_{rms}$ ) merupakan nilai tegangan DC *full wave* sebesar  $9 V_{DC}$ ,  $f$  merupakan nilai frekuensi gelombang tegangan AC yang disearahkan. Tegangan AC berasal dari jala-jala PLN yang memiliki frekuensi sebesar 50 Hz.  $I$  merupakan nilai arus yang melewati rangkaian penyearah menuju kapasitor, nilai maksimum arus sebesar 1 A atau 10 mA. Jadi nilai perhitungan kapasitor filter rangkaian penyearah untuk suplai rangkaian kontrol, dengan memasukkan parameter-parameter yang telah ditentukan ke dalam Persamaan 1.

$$C = \frac{10}{9 \cdot 4 \cdot 50} = 5555,55 \mu F$$

Kapasitor dengan nilai tepat  $5555.55 \mu F$  sulit untuk ditemukan dipasaran sehingga dipilih kapasitor dengan nilai yang lebih besar yaitu  $10,000 \mu F$  yang mudah ditemukan dengan tegangan maksimal sampai dengan 50 VDC. Gambar 2. merupakan rangkaian penyearah untuk rangkaian kontrol Arduino Nano.



Gambar 2. Rangkaian Penyearah untuk Kontrol Arduino Nano [7]

#### 2.1.1. Perancangan Rangkaian Penyearah Driver MOSFET TLP250

Penyearah rangkaian *driver* MOSFET TLP250 menggunakan *adaptor* DC 5V 2A yang terpasang pada sumber 220 VAC. Tegangan keluaran 5 VDC dari *adaptor* akan dinaikkan menjadi 15 VDC menggunakan modul penaik tegangan (*boost converter* DC-DC) XL6009. Skema rangkaian penyearah *driver* MOSFET TLP250 dapat dilihat pada Gambar 3.



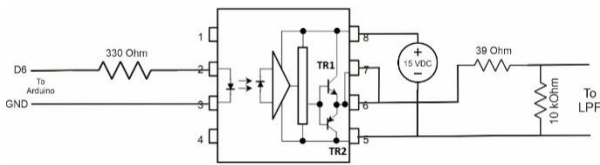
Gambar 3. Rangkaian Penyearah Driver MOSFET TLP250

### 2.2. Perancangan Rangkaian Driver MOSFET TLP250

Rangkaian TLP250 digunakan sebagai *optocoupler* yang berfungsi untuk memisahkan rangkaian kontrol dan

rangkaian daya sehingga bersifat mengisolasi keduanya, selain itu TLP250 juga digunakan untuk menguatkan sinyal PWM yang keluar dari Arduino yang sebesar 5 VDC menjadi 15 VDC.

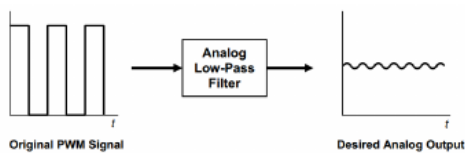
Catu daya yang digunakan untuk mensuplai TLP250 menggunakan tegangan 15 VDC, sehingga sinyal input PWM sebesar 5 VDC dari Arduino akan menjadi sinyal output PWM sebesar 15 VDC dari TLP250. Rangkaian TLP250 yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rancangan Rangkaian Driver MOSFET TLP250 [8]

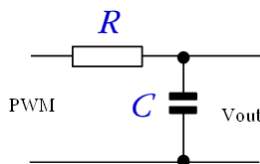
### 2.3. Perancangan Rangkaian Low Pass Filter (LPF)

Rangkaian LPF pada rangkaian CCDL digunakan untuk memfilter nilai frekuensi sinyal PWM dari Arduino Nano yang mana nilai frekuensi rendah (dibawah nilai frekuensi *cut off*) akan terlewat, sedangkan frekuensi di atas frekuensi *cut off* akan tertolak. Rangkaian LPF dengan *input* sinyal PWM, akan menghasilkan *output* sinyal tegangan DC murni ber-analog sesuai *duty cycle* PWM yang dapat terlihat pada Gambar 5. dan digunakan untuk pemecuan *gate* MOSFET. Karena PWM akan diubah menjadi tegangan DC murni ber-analog, maka MOSFET akan bekerja di daerah linier sehingga menghasilkan disipasi daya yang lebih banyak dan arus *drain* ( $I_D$ ) yang stabil.



Gambar 5. Perubahan Sinyal PWM Menjadi DC Analog dengan LPF

Rangkaian LPF yang digunakan pada CCDL ini adalah jenis *RC Low Pass Filter* dengan menggunakan komponen resistor dan kapasitor seperti yang terlihat pada Gambar 6 [9].



Gambar 6. Rangkaian RC Low Pass Filter

Nilai resistor dan kapasitor pada Gambar 6 dapat ditentukan nilainya dengan menggunakan rumus *RC Low Pass Filter* Persamaan 2.

$$f_{cutoff} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2)$$

Dimana,

$f_{cutoff}$  : frekuensi *cut off filter* (Hz)

$R$  : resistansi rangkaian LPF (ohm)

$C$  : kapasitansi rangkaian LPF (Farad)

Nilai kapasitor yang dimiliki sebesar 10 uF dan nilai resistansi hambatan yang dimiliki sebesar 10 kOhm. Menggunakan Persamaan 2, maka dapat ditentukan nilai frekuensi *cut off* dengan perhitungan sebagai berikut.

$$f_{cutoff} = \frac{1}{2\pi \cdot 10000 \cdot 10 \times 10^{-6}} = 1.59 \text{ Hz}$$

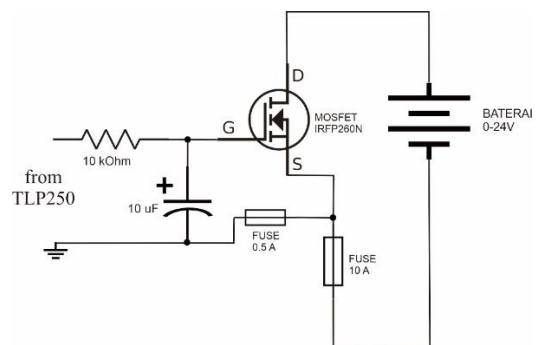
Pada perhitungan didapatkan hasil frekuensi *cut off* sebesar 1,59 Hz. Semakin kecil nilai frekuensi *cut off* LPF, maka nilai tegangan *output* yang diperoleh akan semakin mendekati nilai tegangan *input*.

### 2.4. Perancangan Rangkaian Constant Current Dummy Load (CCDL)

Tabel 1. Parameter Akhir Perancangan CCDL

Parameter Akhir	Nilai Besaran
Tegangan Baterai Uji	0-25 V
Arus <i>discharging</i> maksimum	0-10 A
Disipasi Daya Maksimum	250 W

Pada Tabel 1. ditentukan parameter-parameter yang akhir dimana tegangan baterai yang dapat diuji sebesar 0-25 V, arus *discharging* sebesar 0-10 A, dan disipasi daya maksimum yang dapat diterima alat sebesar 250 W. Rangkaian CCDL pada alat ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Perancangan Rangkaian CCDL

#### 2.4.1. MOSFET (Metal Oxide Field Effect Transistor)

MOSFET yang digunakan pada alat adalah seri IRFP260N yang mampu bekerja pada tegangan  $V_{DSS}$  maksimum 200 V dan arus maksimum 50 A saat suhu 25 °C; 35 A saat suhu

100 °C, spesifikasi lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2. Rangkaian CCDL ini memiliki tegangan uji masukan maksimum sebesar 25 V dan arus *discharging* maksimum sebesar 10 A, sehingga MOSFET IRFP260N pada rangkaian ini dapat bekerja dengan baik sebagai komponen pensaklaran. MOSFET IRFP260N dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. MOSFET IRFP260N

Tabel 2. Spesifikasi MOSFET IRFP260N [10]

Spesifikasi	Nilai Besaran
Tegangan maks. Drain-Source ( $V_{DS}$ )	200 V
Tegangan maks. Gate-Source ( $V_{GS}$ )	$\pm 20$ V
Arus maks. Drain ( $I_D$ )	
-Suhu 25 °C	50 A
-Suhu 100 °C	35 A
Disipasi Daya maks. ( $P_D$ )	300 W

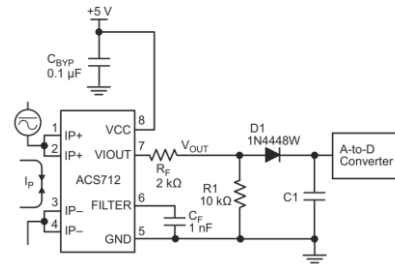
## 2.5. Perancangan Rangkaian Kontrol

### 2.5.1. Arduino Nano

Mikrokontroler Arduino Nano berfungsi sebagai otak dalam pengontrolan rangkaian kontrol pada penelitian ini. Arduino Nano diprogram untuk dapat menerima data pembacaan tegangan dan arus *discharging* dari rangkaian CCDL [11]. Pembacaan arus *discharging* tersebut kemudian digunakan oleh Arduino Nano untuk menghasilkan nilai PWM dengan lebar pulsa yang dapat diatur dengan rentang nilai analog 0-255 (dinyatakan dalam % *duty cycle*), sehingga nilai arus *discharging* pada rangkaian CCDL akan sesuai dengan nilai arus yang telah *setting* di layar *interface* dengan rentang skala 0-10 A, sedangkan nilai tegangan akan mengikuti perubahan nilai arus *discharging* dan dipergunakan untuk perhitungan disipasi daya.

### 2.5.2. Sensor Arus ACS712 20A

Sensor arus yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor arus ACS712 20A yang bekerja berdasarkan prinsip kerja *Hall Effect*. Sensor arus ACS712 20A memiliki sensitifitas sebesar 100 mV/A dimana nilai tegangan saat mengalir arus sebesar 0 A adalah 2,5 V. Arus maksimal yang dihasilkan oleh *Constant Current Dummy Load* adalah 10 A sehingga sensor masih mampu membaca arus tersebut. Rangkaian dalam sensor arus ACS217 20 A dapat dilihat pada Gambar 9 [12].



Gambar 9. Rangkaian Sensor Arus ACS217 20A

Sebagai contoh jika pembacaan nilai ADC pada Arduino Nano sebesar 600, maka dengan menggunakan Persamaan 3 dan 4, didapatkan nilai tegangan input sebesar 2,93V dan arus 4,3A seperti yang terlihat pada perhitungan berikut [13].

$$V_{in} = \frac{ADC \times V_{ref}}{1024} \quad (3)$$

$$Arus = \frac{V_{in} - 2.5}{sensitifitas} \quad (4)$$

Dimana,

$ADC$  : Nilai analog pembacaan sensor

$V_{ref}$  : Tegangan referensi Arduino (5 V)

$V_{in}$  : Tegangan masukan sensor

$sensitifitas$  :  $100 \times 10^{-3}$ , 100 untuk sensor arus 20A

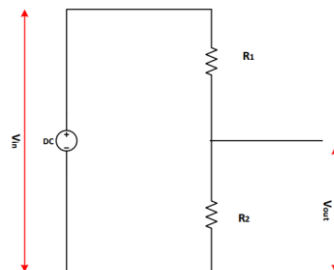
$Arus$  : Nilai arus yang terbaca oleh sensor

$$V_{in} = \frac{ADC \times V_{ref}}{1024} = \frac{600 \times 5}{1024} = 2,93 \text{ V}$$

$$Arus = \frac{V_{in} - 2.5}{sensitifitas} = \frac{2,93 - 2,5}{100 \times 10^{-3}} = 4,3 \text{ A}$$

### 2.5.3. Sensor Tegangan 25V

Modul sensor tegangan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan rangkaian pembagi tegangan dengan  $R_1$  sebesar 30 k $\Omega$  dan  $R_2$  sebesar 7.5 k $\Omega$  seperti yang terlihat pada Gambar 10 [14].



Gambar 10. Rangkaian Pembagi Tegangan

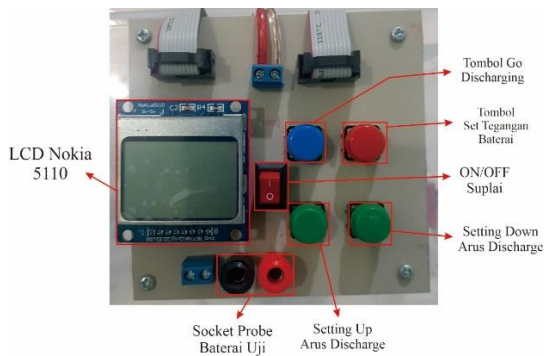
Sehingga saat tegangan input 25V, maka tegangan output pada modul sensor tegangan sebesar 5V seperti perhitungan berikut yang menggunakan Persamaan 5.

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_2 + R_1} \quad (5)$$

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_2 + R_1} = 25 \frac{7500}{7500 + 30000} = 5V$$

### 2.5.4. Interface Alat

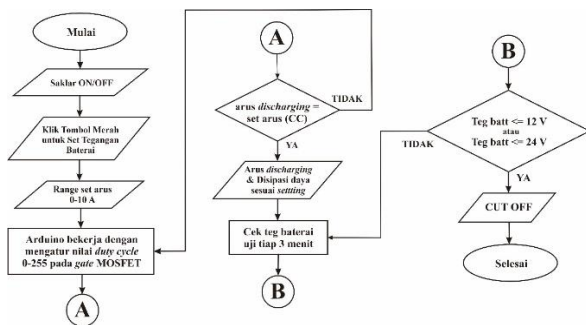
Rangkaian *Interface* pada alat ini terdiri dari beberapa komponen inti yaitu LCD Nokia 5110, 4 buah *push button*, dan saklar *on-off*. Tampilan dari *interface* pada alat dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Tampilan *Interface* Alat

### 2.6. Perancangan Algoritma Pemakaian (Discharging) Baterai

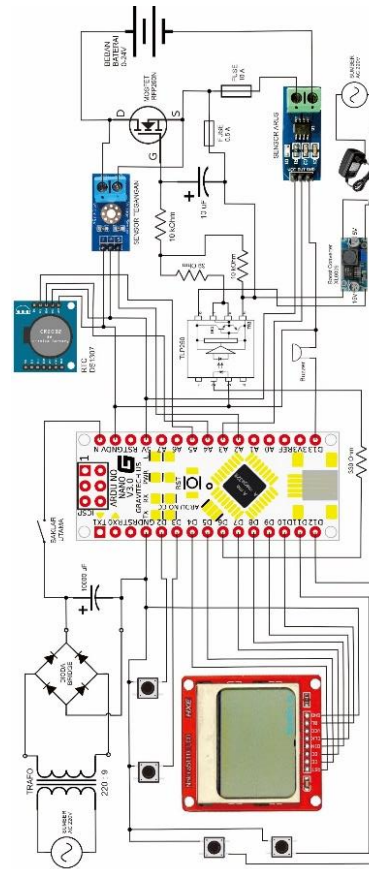
Perancangan algoritma ini digunakan untuk menentukan kondisi pemakaian baterai melakukan *discharging* arus, *flowchart* algoritma pemakaian baterai dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. *Flowchart* Algoritma Kerja Alat

*Flowchart* pada Gambar 12 memperlihatkan algoritma cara kerja alat dengan rentang *setting* arus 0-10 A. Setelah disetting arus *discharging*, alat akan melakukan penarikan arus pembebanan hingga mencapai *Constant Current* (CC) dengan mengacu nilai set arus awal. Alat akan mengetahui secara otomatis apakah baterai *lead acid* yang digunakan bertegangan 12 V atau 24 V. Apabila baterai yang diuji bertegangan 12 V, maka alat akan meng-*cut off* arus di nilai 12 V (DOD 60 %) dan apabila baterai yang diuji bertegangan 24 V, maka alat akan meng-*cut off* arus di nilai

24 V (DOD 60 %) [2]. Dibawah ini terdapat Gambar 13. yang memperlihatkan skema keseluruhan rangkaian alat.

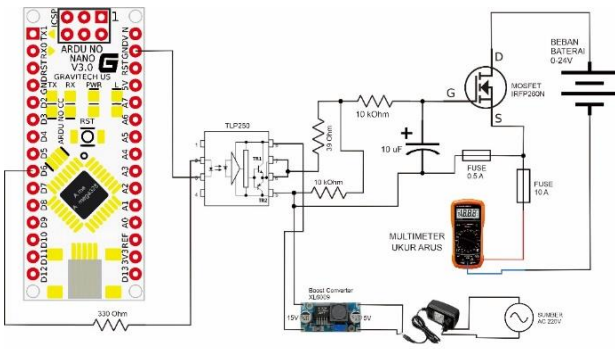


Gambar 13. Keseluruhan Rangkaian Alat

## 3. Hasil dan Analisa

### 3.1. Hasil Pengujian Tanpa Umpan Balik Rangkaian CCDL

Pengujian rangkaian CCDL tanpa umpan balik bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai arus yang dapat ditarik oleh rangkaian CCDL sesuai dengan variasi kenaikan *duty cycle* dari persentase rendah hingga tinggi. Pengujian dilakukan dengan 8 variasi *duty cycle* untuk pemecutan MOSFET. Cara melakukan pengujian yaitu dengan menghubungkan keluaran positif dari baterai uji ke multimeter, yang mana keluaran positif tersebut juga akan terhubung dengan MOSFET. Gambar rangkaian CCDL dengan pengujian umpan balik arus ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Rangkaian Pengujian Tanpa Umpan Balik Rangkaian CCDL

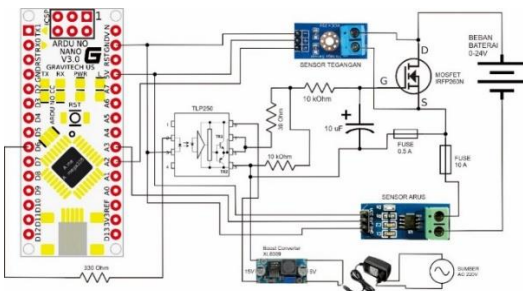
Tabel 3. Data Pengujian Tanpa Umpan Balik Rangkaian CCDL

Nilai ADC pin D6	Duty Cycle (%)	I <sub>bs</sub> (A)
21	8,2	0,03
22,5	8,8	0,08
24	9,4	0,31
25	9,8	0,57
27	10,58	1,36
28	10,98	1,65
29	11,37	1,93
30	11,76	2,22

Berdasarkan Tabel 3. dapat dilihat bahwa terdapat 8 variasi *setting* Nilai ADC yang akan memperoleh pemicuan persentase *duty cycle* yang berbeda pula. Nilai *duty cycle* yang bervariasi dilakukan kenaikan secara bertahap untuk mengetahui seberapa besar nilai arus *discharging* terhadap kenaikan nilai *duty cycle*. Arus yang tertarik akan berbanding lurus dengan kenaikan *duty cycle*.

### 3.2. Hasil Pengujian Umpan Balik Rangkaian CCDL

Pengujian rangkaian CCDL dengan umpan balik bertujuan untuk mengetahui apakah arus yang tertarik ke rangkaian CCDL telah sesuai dengan arus *setting* hingga tercapai nilai kontan. Pengujian dilakukan dengan memberikan 5 variasi arus *setting discharging*. Gambar rangkaian CCDL dengan pengujian umpan balik arus ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Rangkaian Pengujian Umpan Balik Rangkaian CCDL

Tabel 4. Data Pengujian Umpan Balik Rangkaian CCDL

Setting Arus (A)	Nilai ADC D6	Duty Cycle (%)	I <sub>bs</sub> (A)	V <sub>DS</sub> (V)	P <sub>D</sub> (W)
0,5	26,95	10,56	0,53	12,56	6,65
1	27,96	10,96	1,03	12,28	12,65
1,5	28,96	11,35	1,53	12,03	18,04
2	30	11,76	2,02	11,81	23,86
2,5	31,96	12,53	2,53	11,56	29,25

Berdasarkan Tabel 4. dapat dilihat bahwa terdapat 5 variasi persentase pemicuan *duty cycle* dari *setting* arus yang berbeda. Nilai *duty cycle* akan terus berubah-ubah hingga tercapainya arus *discharging* kontan sesuai *setting* arus, hal ini dapat dibuktikan dengan data serial monitor arus *setting* 1A *software* Arduino IDE pada Gambar 16.

```

DC=30.95 %DC=12.14 VDS=12.49 Arus Discharge (IDS)=1.03
DC=30.96 %DC=12.14 VDS=12.51 Arus Discharge (IDS)=0.98
DC=30.97 %DC=12.15 VDS=12.52 Arus Discharge (IDS)=0.93
DC=30.98 %DC=12.15 VDS=12.52 Arus Discharge (IDS)=0.98
DC=30.99 %DC=12.15 VDS=12.52 Arus Discharge (IDS)=0.93
DC=31.00 %DC=12.16 VDS=12.55 Arus Discharge (IDS)=0.88
DC=30.98 %DC=12.15 VDS=12.50 Arus Discharge (IDS)=1.03
DC=30.99 %DC=12.15 VDS=12.49 Arus Discharge (IDS)=0.98
DC=30.97 %DC=12.15 VDS=12.52 Arus Discharge (IDS)=1.03
DC=30.98 %DC=12.15 VDS=12.51 Arus Discharge (IDS)=0.98
DC=30.99 %DC=12.15 VDS=12.55 Arus Discharge (IDS)=0.98
DC=31.00 %DC=12.16 VDS=12.57 Arus Discharge (IDS)=0.88
DC=30.98 %DC=12.15 VDS=12.52 Arus Discharge (IDS)=1.07
DC=30.96 %DC=12.14 VDS=12.51 Arus Discharge (IDS)=1.03
DC=30.97 %DC=12.15 VDS=12.49 Arus Discharge (IDS)=0.93
DC=30.95 %DC=12.14 VDS=12.50 Arus Discharge (IDS)=1.03
DC=30.96 %DC=12.14 VDS=12.51 Arus Discharge (IDS)=0.93
DC=30.97 %DC=12.15 VDS=12.52 Arus Discharge (IDS)=0.93
DC=30.98 %DC=12.15 VDS=12.52 Arus Discharge (IDS)=0.93
DC=30.99 %DC=12.15 VDS=12.52 Arus Discharge (IDS)=0.93
DC=31.00 %DC=12.16 VDS=12.52 Arus Discharge (IDS)=0.83
    
```

Gambar 16. Serial Monitor untuk Setting Arus Konstan Discharging 1A

### 3.3. Hasil Pengujian Durasi Waktu Discharging Pada Baterai

Pengujian durasi waktu *discharging* dilakukan untuk mengetahui kondisi kapasitas baterai. Alat akan terus menarik arus beban hingga baterai mencapai tegangan *cut off* 12 V (12 V adalah *deep cycle battery* untuk *depth of discharge* 60%). Spesifikasi baterai yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Baterai Uji Lead Acid Tipe AGM

**Tabel 5. Data Pengujian Waktu Discharging Baterai DOD 60%**

Data ke-	Set Arus (A)	Durasi Waktu	V <sub>MULA</sub> (V)	V <sub>cutoff</sub> (V)
1.	1,5	01 : 25 : 00	13,19	12
2.	2,5	00 : 52 : 00	13,24	12

Pada Tabel 5. dapat terlihat bahwa untuk melakukan *discharging* dengan *setting* arus konstan sebesar 1,5 A akan memakan durasi waktu 1 jam 25 menit hingga baterai mencapai tegangan 12 V, dan *setting* arus konstan sebesar 2,5 A akan memakan durasi waktu 52 menit. Apabila melakukan perhitungan dengan menggunakan *peukert's law* menurut Persamaan 6 akan didapatkan hasil durasi waktu sebagai berikut [15].

$$t = H \left( \frac{C_p}{I H} \right)^{pc} \quad (6)$$

Dimana,

*t* : Waktu dalam jam

*H* : *Discharge rate* dalam Hours (Hr)

*C<sub>p</sub>* : Kapasitas baterai (Ah)

*I* : Besar nilai arus *discharging* (A)

*pc* : koefisien *Peukert's Law*

waktu:

$$t = H \left( \frac{C_p}{I H} \right)^{pc}, \text{ untuk } \textit{setting} \text{ arus sebesar } 1.5 \text{ A}$$

$$t = 10 \left( \frac{5}{1,5 \cdot 10} \right)^{1.1}$$

$$t = 2,986 \text{ Hours} = 2,986 \times 60 \text{ minutes}$$

$$t = 179 \text{ menit atau } 2 \text{ jam } 59 \text{ menit}$$

$$t = H \left( \frac{C_p}{I H} \right)^{pc}, \text{ untuk } \textit{setting} \text{ arus sebesar } 2.5 \text{ A}$$

$$t = 10 \left( \frac{5}{2,5 \cdot 10} \right)^{1.1}$$

$$t = 1,7 \text{ Hours} = 1,7 \times 60 \text{ minutes}$$

$$t = 102 \text{ menit atau } 1 \text{ jam } 42 \text{ menit}$$

Dari hasil pengujian langsung *discharging* baterai dan dari hasil perhitungan menggunakan persamaan *peukert's law*, maka dapat dibuat perbandingan hasil ke dalam Tabel 6.

**Tabel 6. Perbandingan Antara Hasil Pengujian DOD 60% dan Perhitungan DOD 100%**

Data ke-	Setting Arus (A)	Hasil Pengujian	Hasil Perhitungan
1.	1,5	1 jam 25 menit	2 jam 59 menit
2.	2,5	52 menit	1 jam 42 menit

Pada Tabel 6. dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan hasil yang signifikan antara hasil pengujian dengan hasil perhitungan. Perbedaan ini karena hasil perhitungan pada *peukert's law* adalah hasil durasi waktu apabila baterai melakukan *discharging* dengan *depth of discharge* (DOD) sebesar 100% atau hingga tegangan baterai mencapai 10,5 V. Persentase DOD dari baterai *lead acid* adalah kebalikan dari *state of charge* baterai seperti yang terlihat pada Gambar 18.

State of Charge	12 Volt battery	Volts per Cell
100%	12.7	2.12
90%	12.5	2.08
80%	12.42	2.07
70%	12.32	2.05
60%	12.20	2.03
50%	12.06	2.01
40%	11.9	1.98
30%	11.75	1.96
20%	11.58	1.93
10%	11.31	1.89
0	10.5	1.75

**Gambar 18. Persentase DOD Lead Acid Battery [3]**

Maka apabila DOD sebesar 60% untuk perhitungan *peukert's law* akan didapatkan hasil seperti yang terlihat pada Tabel 7.

**Tabel 7. Perbandingan Antara Hasil Pengujian DOD 60% dan Perhitungan DOD 60%**

Data ke-	Setting Arus (A)	Hasil Pengujian DOD 60%	Hasil Perhitungan DOD 60%	Selisih Waktu
1.	1,5	1 jam 25 menit	1 jam 47 menit	22 menit
2.	2,5	52 menit	61 menit	9 menit

Dari Tabel 7. dapat terlihat adanya selisih waktu. Selisih waktu tersebut dapat disebabkan kondisi kapasitas baterai yang mulai kurang prima atau dapat dikatakan kondisi baterai kurang sehat. Melakukan *discharging* baterai hingga tegangan baterai mencapai 10,5 V dapat merusak baterai dengan sangat cepat, sehingga sangat tidak dianjurkan dilakukan.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian, dan analisa yang telah dilakukan maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

Alat telah mampu men-*setting* arus pembebanan dengan nilai arus 0-10 A dan mampu menerima tegangan baterai uji sebesar 0-25 V. Berdasarkan pengujian tanpa umpan balik, arus pembebanan (*I<sub>DS</sub>*) dapat tertarik ke rangkaian CCDL jika telah dipicu dengan persentase *duty cycle* minimum sebesar 8% dan akan bertambah nilai arusnya seiring dengan bertambahnya persentase *duty cycle*. Berdasarkan pengujian dengan umpan balik, alat mampu menarik arus pembebanan (*I<sub>DS</sub>*) hingga mencapai konstan sesuai dengan *setting* arus, dan alat telah mampu menghasilkan disipasi daya yang besar, seperti data ke-5 dengan *setting* arus 2,5 A didapat arus konstan 2,53 A dan disipasi daya sebesar 29,25 W. Berdasarkan pengujian durasi waktu *discharging*, alat mampu mempertahankan *discharging* arus hingga mencapai *cut off voltage* 12V dengan durasi waktu 1 jam 25 menit untuk arus 1,5A dan

52 menit untuk arus 2,5A. Hal ini tidak sesuai dengan perhitungan *Peukert's law* 60% DOD yaitu 1,5A; 1 jam 47 menit dan 2,5A; 61 menit, dari ketidaksesuaian tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa kapasitas baterai yang diuji sudah dalam kondisi kurang prima.

## Referensi

- [1]. J. P. Dunlop. Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems Fundamentals and Application. Florida: Florida Solar Energy Center. 1997.
- [2]. MIT Electric Vehicle Team. A Guide to Understanding. Battery Specifications. 2008.
- [3]. Devore, Donovan D. UIowa Wiki. Battery Systems Overview. [www.wiki.uiowa.edu/display/greenergy/Battery+Systems+Overview](http://www.wiki.uiowa.edu/display/greenergy/Battery+Systems+Overview) (diakses tanggal 02 Juni 2020).
- [4]. Maulana, Eka. Teori Dasar MOSFET.pp, 1–34. 2014.
- [5]. Schonhoff, A, Green, L, dan Borkowski, J. *Dummy Load Resistor*. United States: United States Patent Office. 1959.
- [6]. Ave, W. Touhy. Filtering Paper. Lincolnwood: Illinois Capacitor, INC. 2020.
- [7]. Rashid, M. H. Power Electronics: Circuit, Devices, and Application. New Jersey: Pentice-Hall International Inc. 1993.
- [8]. TOSHIBA. TLP250. TOSHIBA. 2004.
- [9]. Passive Low Pass Filter. [http://www.electronicstutorials.ws/filter/filter\\_2.html](http://www.electronicstutorials.ws/filter/filter_2.html) (diakses tanggal 03 Mei 2020).
- [10]. International Rectifier, IRFP260N Power MOSFET. 2004.
- [11]. Cyber-Code Media. Mengenal Arduino Nano. <http://family-cybercode.blogspot.com/2016/01/mengenal-arduino-nano.html> (diakses tanggal 04 Mei 2020).
- [12]. Valleman, ACS712 Current Sensor 20A. Gavere: Valleman.
- [13]. Allegro MicroSystems, Inc. ACS712 Current Sensor. Manchester. 2020.
- [14]. Shenzhen Global Technology Co., Ltd. Voltage Sensor/Divider Board for ARDUINO developments. Shenzhen City. 2015.
- [15]. Ma, Jianchen, Jun, Chen, dan Xie, Jiale. *Peukert-Equation-Based State-of-Charge Estimation for LiFePO4 Batteries Considering the Battery Thermal Evolution Effect*. MDPI: Energies .2018.