

## PERANCANGAN SISTEM CHARGING PADA BATERAI PURWARUPA MOBIL LISTRIK

Rivaldi Juswan<sup>\*)</sup>, Tejo Sukmadi dan Enda Wista Sinuraya

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

<sup>\*)</sup> E-mail : rivaldijuswan7@gmail.com

### Abstrak

Pada proses pengisian baterai perlu memperhatikan nilai arus dan tegangan yang mengalir ke baterai. Saat ini, baterai merupakan alat kebutuhan penting bagi manusia. Teknologi rechargeable battery atau baterai isi ulang pun semakin membantu memenuhi kebutuhan manusia. Proses pengisian pada baterai isi ulang dilakukan dengan mengalirkan arus terus-menerus hingga tegangan baterai bertambah sampai nilai tertentu karena pengisian berlebihan dapat merusak baterai sehingga baterai tak dapat bertahan lama. Waktu pengisian dan usia baterai sangat bergantung pada sifat rangkaian pengisi akumulator. Arus dan tegangan yang tidak sesuai dapat merusak baterai dan mengurangi umur baterai. Masalah tersebut dapat diatasi dengan menggunakan rangkaian pemutus tegangan dan arus. Metode pengisian yang digunakan yaitu constant voltage, pemilihan rangkaian Cut Off menggunakan transistor sebagai alat pemutus tegangan dan arus memiliki kelebihan yaitu mampu memutus tegangan dan arus sesuai yang dibatasi tanpa perlu mengganti komponen. Berdasarkan hasil pengujian, rangkaian cut off dapat memutus tegangan dan arus keluaran sesuai yang dibatasi. Berdasarkan hasil pengukuran, rangkaian cut off mampu memutus tegangan dan arus pada tegangan 13.43 V dan arus 0.97 A pada baterai 65 Ah.

*Kata Kunci: Pengisian Baterai, Cut Off, Transistor, Constant Voltage (CV).*

### Abstract

*In the process of charging the battery, it is necessary to pay attention to the value of the current and voltage flowing to the battery. Currently, the battery is an essential tool for humans. Rechargeable battery technology is also increasingly helping meet human needs. The process of charging a rechargeable battery is carried out by flowing current continuously until the battery voltage increases to a certain value because overcharging can damage the battery so that the battery cannot last long. Charging time and battery life are highly dependent on the nature of the accumulator charger circuit. Incompatible currents and voltages can damage the battery and reduce battery life. This problem can be overcome by using a circuit breaker voltage and current. The charging method used is constant voltage, the cut-off circuit selection using a transistor as a voltage and current breaker has the advantage of being able to cut the voltage and current as limited without the need to replace components. Based on the test results, the cut off circuit can cut off the output voltage and current as limited. Based on the measurement results, the cut off circuit is able to cut off the voltage and current at a voltage of 13.43 V and a current of 0.97 A on a 65 Ah battery.*

*Keywords: Battery Charging, cut off, transistor, constant voltage (CV)*

### 1. Pendahuluan

Mobil listrik merupakan salah satu kendaraan tanpa emisi yang menjadi salah satu alternatif untuk menekan angka polusi udara dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Upaya pemerintah dalam mengurangi peningkatan pencemaran udara adalah dengan mengeluarkan Peraturan Presiden No. 55 Tahun 2019. “Bahwa untuk peningkatan efisiensi energi, ketahanan energi, dan konservasi energi sektor transportasi, dan terwujudnya energi bersih, kualitas udara bersih dan ramah lingkungan, serta komitmen indonesia menurunkan emisi gas rumah kaca, perlu mendorong percepatan program kendaraan bermotor listrik

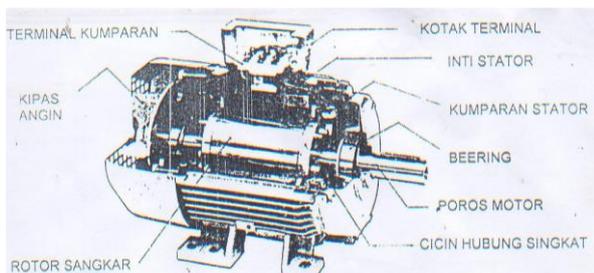
berbasis baterai (battery electric vehicle) untuk transportasi jalan” [1]. Penggunaan mobil listrik dirasa efektif selain tidak menimbulkan polusi udara dan konstruksi mesinnya lebih sederhana. Pada saat ini, BBM yang merupakan energi fosil persediaannya semakin terbatas, oleh karena itu dibuat sumber energi alternatif apabila BBM itu habis. Salah satu media penyimpanan energi adalah baterai. Penyimpanan dan konversi energi akan menjadi sangat terkait dengan perkembangan energi terbarukan. Penggunaan baterai sebagai media penyimpanan energi diharapkan dapat menjadi teknologi yang sangat penting dalam perkembangan energi terbarukan [2].

Akumulator merupakan komponen penyimpanan energi listrik yang dapat dipindah-pindah dan mampu menyimpan energi listrik melalui proses kimia sehingga energi listrik dapat digunakan pada waktu yang lain [3]. Accumulator atau sering disebut Accu, adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau motor, semua memerlukan Accu untuk dapat menghidupkan mesin mobil (mencatu arus pada dinamo stater kendaraan). Accu mampu mengubah tenaga kimia menjadi tenaga listrik [4].

Pada dasarnya sistem mobil listrik terbagi atas empat sistem besar [5], yaitu :

- A. Sistem motor dan power drives
- B. Sistem penyimpanan energi
- C. Sistem kendali mobil listrik
- D. Sistem pendukung mobil listrik

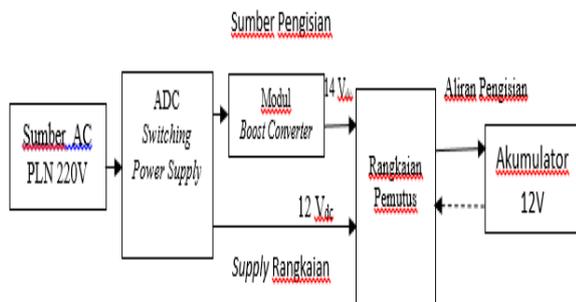
Untuk meningkatkan kehandalan dan keamanan serta kestabilan sistem mobil listrik, maka keseluruhan perangkat pada mobil listrik harus dihubungkan antara satu dan yang lainnya sehingga saling terintegrasi dan dapat berinteraksi dengan baik (Tim Pengembang Mobil Listrik Nasional ITB, 2014:159).



Gambar 1. Motor Induksi Tiga Fasa

## 2. Metode

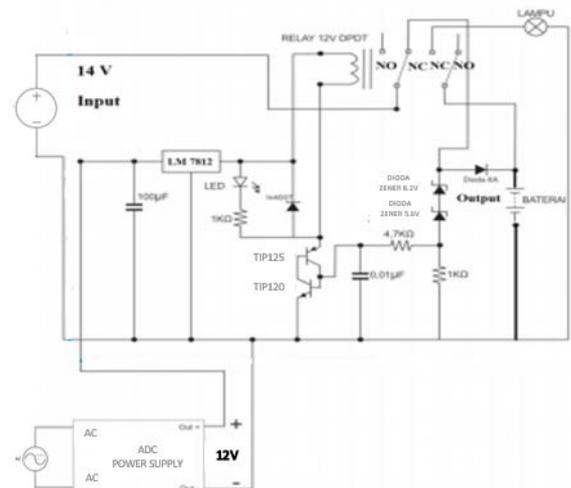
Blok diagram alur dari Tugas Akhir berjudul “Perancangan Sistem Charging pada Baterai Purwarupa Mobil Listrik” dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. Blok Diagram Alat

### 2.1. Sumber AC Satu Fasa

Sumber tegangan yang digunakan untuk charging serta rangkaian Cut Off adalah tegangan jala-jala PLN atau dalam bahasa teknisnya tegangan bolak-balik (AC) satu fase 220 V dengan frekuensi 50 Hz. Nilai tegangan 220 VAC tersebut kemudian diubah menjadi tegangan 12Vdc menggunakan power supply untuk menjadi tegangan arus searah (DC) bernilai 12 VDC untuk rangkaian.[6]



Gambar 3. Wiring Rangkaian

### 2.2. Komponen Rangkaian

Pada Gambar 2 merupakan rangkaian yang digunakan pada Tugas Akhir ini Komponen rangkaian sebagai berikut:

1. TIP120 dan TIP125
2. Resistor
3. LM 7812
4. Relay 12 V
5. Dioda
6. Dioda zener
7. Kapasitor
8. ADC Power Supply

### 2.3. Metode Pengisian Baterai

Terdapat beberapa metode charging yang bisa digunakan untuk rangkaian charging. Metode tersebut berbeda dalam cara pemberian energi listrik dari catu daya ke accumulator atau baterai. Metode -metode tersebut diantaranya adalah sebagai berikut : [7]

#### A. Constant Voltage

Pada dasarnya adalah berupa DC power supply biasa. Terdiri dari transformator step down dengan rangkaian penyearah untuk memberikan tegangan DC yang digunakan untuk mengisi baterai. Metode seperti ini sering digunakan pada pengisi daya pada aki mobil murah. Selain itu, baterai Lithium Ion juga menggunakan metode

constant voltage walaupun sering ditambahkan rangkaian yang kompleks untuk melindungi baterai dan penggunaannya.

#### B. Constant Current

Metode constant current memvariasikan nilai tegangan sehingga didapatkan besarnya arus yang konstan. Metode ini biasanya digunakan untuk mengisi daya pada nikel-cadmium dan nikel-metal hibrida atau biasa disebut baterai.

#### C. Taper Current

Metode taper current mengisi daya baterai dari sumber tegangan konstan. Arus akan berkurang seiring dengan terbentuknya ggl (gaya gerak listrik) pada tegangan sel. Ada bahaya serius yaitu kerusakan sel jika pengisian dilakukan berlebihan. Untuk menghindari hal ini, laju pengisian dan durasi pengisian diberi batasan. Metode ini hanya cocok untuk baterai SLA.

#### D. Pulsed Charged

Metode ini bekerja dengan mengalirkan arus listrik berbentuk pulsa pada baterai. Tingkat pengisian (berdasarkan rata-rata arus) dapat tepat dikendalikan dengan memvariasikan lebar pulsa, biasanya sekitar satu detik. Selama proses pengisian, terdapat jeda kosong kira-kira sebesar 20 sampai 30 milidetik. Jeda ini diberikan untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimia pada baterai untuk menstabilkan elektroda. Waktu jeda tersebut juga dapat menghindarkan proses pengisian dari efek-efek yang tidak diinginkan seperti timbulnya gelembung gas, timbulnya kristal dan passivasi.[8]

### 2.4. Metode Pengisian Akumulator

#### A. Burp Charging

Metode ini merupakan kebalikan dari metode pulsed charged. Pengisian terjadi dengan menggunakan pulsa negatif pada baterai.

#### B. Boost and Quick Charging

Pengisian dengan cara boost and quick charging adalah untuk pengisian baterai yang dipakai di pabrik-pabrik, juga untuk baterai diesel (industrial truck service) dimana diperlukan tambahan pengisian dalam periode yang singkat misalnya pada jam-jam istirahat. Pengisian cara ini cukup untuk pelayanan satu hari. Arus yang diberikan ke baterai tidak boleh melebihi harga ampere-jamnya. Untuk menjaga pengisian yang berlebihan dan arus yang terlalu besar. Biasanya alat pengisi ini mempunyai automatic out-off yang mana memberhentikan pengisian pada waktu baterai mencapai suhu tinggi.

#### C. Equalizing Charging

Dalam sel-sel dari suatu baterai yang beroperasi dengan pengisian terapung (floating charge) akan selalu terjadi sedikit perbedaan (yang tidak dapat dihindarkan) dalam kondisi kimia (chemical condition) antara satu sel dengan sel yang lainnya. Equalizing charge dilaksanakan dengan

cara menaikkan tegangan baterai sesuai dengan yang ditentukan dalam buku petunjuk masing-masing pabrik. Pengisian ini berlangsung sampai semua sel berhenti mengeluarkan gas (gas freely) dan pembacaan tegangan serta berat jenis elektrolitnya menunjukkan bahwa baterai telah diisi penuh (full charge) sesuai dengan harga yang ditentukan dalam petunjuk masing-masing pabrik.

#### D. Trickle Charge

Metode ini dirancang untuk mengimbangi debit daripada baterai. Tingkat pengisian disesuaikan dengan frekuensi debit baterai yang akan diisi. Metode ini tidak cocok untuk beberapa jenis baterai yang rentan akan kerusakan akibat pengisian yang berlebihan, misalnya NiMh dan Lithium. Pengisian dengan cara trickle charging adalah pengisian baterai dengan arus konstan. Besarnya arus konstan dipilih untuk mendapatkan arus rata-rata yang dibutuhkan untuk mengisi baterai sampai penuh (full charge) dan ditambah arus kompensasi untuk melayani beban.

Umumnya trickle charging digunakan pada baterai yang tidak terlalu sering terjadinya pengosongan (discharge) seperti pada mesin stationer yang besar dan starting-turbin. Setelah terjadi pengosongan, maka diperlukan pengisian dengan arus tinggi (high rate charging), untuk mengembalikan kapasitas baterai penuh.[9].

### 2.5. Kapasitas Baterai

Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam ampere jam (Ampere - hour), muatan inilah yang akan dikeluarkan untuk menyuplai beban ke pelanggan. Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini [10]:

$$Ah = \text{Kuat Arus (ampere)} \times \text{waktu (hours)}$$

Dimana :

Ah = kapasitas baterai aki

I = kuat arus (ampere)

T = waktu (jam/sekon)

### 2.6. Penyearah

Rangkaian penyearah berfungsi sebagai pengubah tegangan arus bolak-balik menjadi tegangan arus searah. Didalam rangkaian penyearah terdapat transformator step-down yang berfungsi untuk menurunkan tegangan bolak-balik sehingga didapatkan nilai tegangan yang sesuai dengan kebutuhan. Terdapat dua jenis rangkaian penyearah yaitu rangkaian penyearah setengah gelombang dan rangkaian penyearah gelombang penuh. Pada tugas akhir ini digunakan penyearah jenis gelombang penuh[11].

### 2.7. Filter Kapasitor

Filter kapasitor digunakan sebagai filter atau tapis untuk mengurangi tegangan ripple keluaran sumber tegangan

arus searah yang merupakan hasil dari proses penyearahan menggunakan dioda bridge.[12]

## 2.8. Transistor

Transistor adalah komponen elektronika multitermal, biasanya memiliki 3 terminal. Secara harfiah, kata “Transistor” berarti “Transfer resistor”, yaitu suatu komponen yang nilai resistansi antara terminalnya dapat diatur[13]

## 2.9. LM 7812

LM 7812 merupakan IC regulator tegangan . IC LM7812 biasa digunakan dalam sirkuit elektronik yang membutuhkan power supply yang diatur karena kemudahan dalam penggunaan dan biaya rendah.[14]

## 2.10. Relay

Relay adalah perangkat elektris atau bisa disebut komponen yang berfungsi sebagai saklar elektris, Cara kerja relay adalah apabila kita memberi tegangan pada kaki 1 dan kaki ground pada kaki 2 relay maka secara otomatis posisi kaki CO (Change Over) pada relay akan berpindah dari kaki NC (Normally Close) ke kaki NO (Normally Open).[15]

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Pengujian Sumber Tegangan Tegangan AC 1 Fasa (sumber Arus Bolak-Balik)

Sumber tegangan masukan sistem charging mobil listrik adalah sumber tegangan AC satu fasa. Pengujian sumber tegangan ini dilakukan untuk mendapatkan nilai sumber tegangan efektif AC satu fasa yang disuplai oleh PLN. Dari Gambar 4 dibawah ini diketahui nilai tegangan AC satu fasa PLN yang terukur pada multimeter adalah sebesar 218 VAC, nilai tersebut merupakan nilai efektif (rms) dengan nilai frekuensi standarnya yaitu 50 Hz.



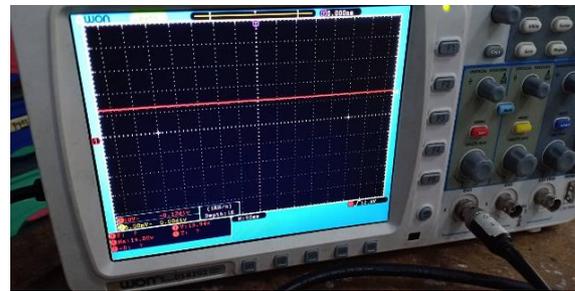
Gambar 4. Nilai Tegangan AC Satu Fasa PLN

Sehingga dengan tegangan AC satu fasa sebesar 218 VAC, maka didapatkan nilai tegangan puncak 1 fasa sebesar 301.22 Vp sesuai dengan perhitungan pada Persamaan dibawah ini.

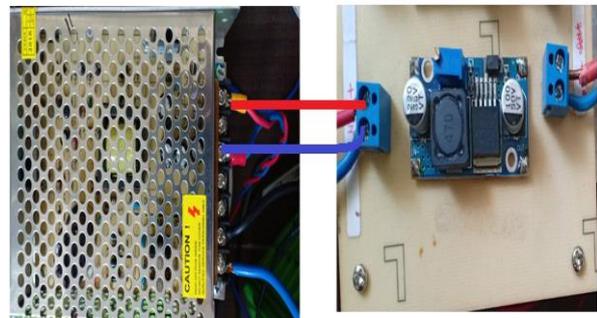
$$\begin{aligned} \text{Tegangan puncak} &= \text{Tegangan efektif} \sqrt{2} \\ &= 218 \sqrt{2} = 308.29 \text{ Vp} \end{aligned}$$

### 3.2. Pengujian Penaik Tegangan Menggunakan Modul Boost Converter

Pengujian penaik tegangan ini dilakukan untuk mendapatkan nilai sumber tegangan pengisian dapat dinaikkan dari 12Vdc menjadi 14Vdc. Sebelum dihubungkan ke modul boost converter, terlebih dahulu menguji gelombang keluaran dari power supply tersebut.



Gambar 5. Gelombang Keluaran DC power supply



Gambar 6. Keluaran Switching Power Supply dinaikkan menggunakan modul boost converter

Pada Gambar 6, terlihat bahwa sumber tegangan AC satu Fasa dihubungkan ke Switching power supply, lalu keluarannya berupa tegangan arus searah (DC) 12Vdc yang kemudian dihubungkan menuju rangkaian modul boost converter agar mendapatkan nilai tegangan pengisian 14Vdc.

Pada Gambar 7, terlihat bahwa tegangan keluaran dari power supply 12Vdc dinaikkan menggunakan modul boost converter menjadi 14.085Vdc



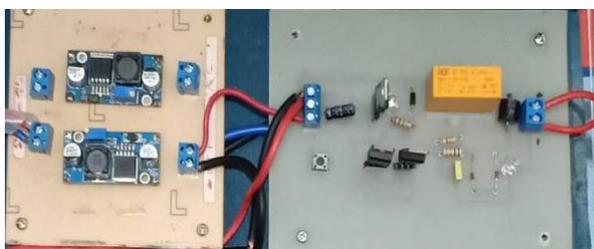
Gambar 7. Hasil Pengujian Keluaran Tegangan setelah dinaikkan

### 3.3. Pengujian Pengisian Baterai

Pengujian Pengisian Baterai dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu pengisian terhadap tegangan dan arus pada saat pengisian baterai.

#### 3.3.1. Pengujian Pengisian Baterai 7.0Ah

Pengujian ini merupakan pengujian pengisian baterai dengan baterai 7.0 Ah. Metode pengisian baterai yang digunakan yaitu Constant Voltage, tegangan pengisiannya selalu konstan yaitu 14.0V. Sumber Pengisian menggunakan switching power supply 12Vdc yang dinaikkan menggunakan modul boost converter agar mendapat nilai tegangan pengisian 14.0V.



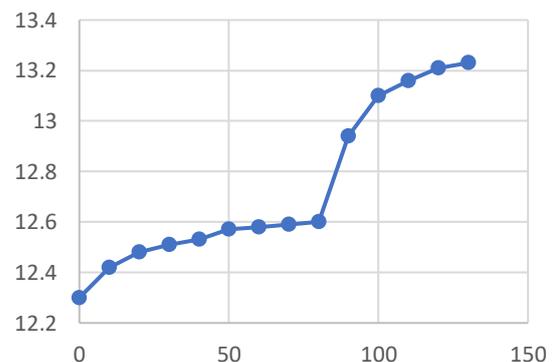
Gambar 8. Wiring Tegangan pengisian rangkaian dinaikkan menggunakan modul boost converter

Pada Gambar 8, terlihat bahwa rangkaian mendapat masukan tegangan arus searah (DC) 12Vdc yang masuk ke modul boost converter kemudian dinaikkan oleh modul boost converter agar mendapatkan nilai tegangan pengisian 14Vdc menuju rangkaian cut off.

Tabel 1. Pengujian pengisian baterai 7.0 Ah

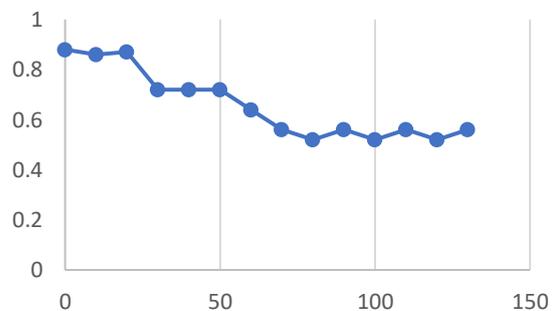
No	Menit	V Pengisian (V)	I Pengisian (A)	V Baterai (V)	I Baterai (A)
1	0	14.0	0.52	12.30	0.88
2	10	14.0	0.70	12.42	0.86
3	20	14.0	0.86	12.48	0.87
4	30	14.0	0.85	12.51	0.72
5	40	14.0	0.79	12.53	0.72
6	50	14.0	0.71	12.57	0.72
7	60	14.0	0.63	12.58	0.64
8	70	14.0	0.55	12.59	0.56
9	80	14.0	0.50	12.60	0.52
10	90	14.0	0.55	12.94	0.56
11	100	14.0	0.50	13.10	0.52
12	110	14.0	0.55	13.16	0.56
13	120	14.0	0.50	13.21	0.52
14	130	14.0	0.55	13.23	0.56

Hubungan Waktu Pengisian dengan Tegangan Baterai



Gambar 9. Hubungan waktu pengisian dengan tegangan baterai pengisian baterai 7.0Ah

Hubungan Waktu Pengisian dengan Arus Baterai



Gambar 10. Hubungan waktu pengisian dengan arus baterai pengisian baterai 7.0Ah

Gambar 9 merupakan hubungan antara waktu pengisian dengan tegangan baterai, dapat dilihat bahwa waktu pengisian dengan tegangan baterai berbanding lurus, semakin naik waktu maka tegangan baterai juga semakin naik. Waktu pengisian dimulai pada menit 0 dan selesai menit 130. Pada menit 0 tegangan baterai sebesar 12.30 V dan pada menit 130 sebesar 13.23 V.

Gambar 10 merupakan hubungan antara waktu pengisian dengan arus baterai, dapat dilihat bahwa waktu pengisian dengan arus baterai berbanding terbalik, semakin naik waktu arus baterai semakin turun. Waktu pengisian dimulai pada menit 0 dan selesai pada menit 130. Pada menit 0 arus baterai sebesar 0.88 A dan pada menit 130 sebesar 0.56A.

### 3.3.2. Pengujian Pengisian Baterai 65Ah

Pengujian ini merupakan pengujian pengisian baterai dengan baterai 65 Ah. Metode pengisian baterai yang digunakan yaitu Constant Voltage, tegangan pengisiannya selalu konstan yaitu 14.10V.

Tegangan dan arus diukur menggunakan multimeter digital dengan probe tegangan dihubungkan paralel dengan probe arus dihubungkan seri dengan baterai. Berikut merupakan data yang diambil pada pengisian baterai dengan baterai 12V 65 Ah.

Sumber Pengisian menggunakan switching power supply 12Vdc yang dinaikkan menggunakan modul boost converter agar mendapat nilai tegangan pengisian 14.10V

Tabel 2. Pengujian pengisian baterai 65 Ah

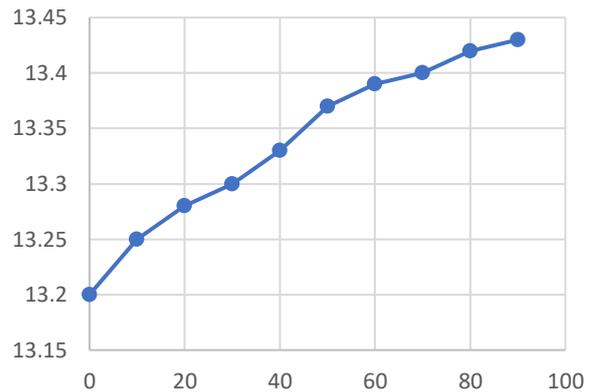
No	Menit	V Pengisian (V)	I Pengisian (A)	V Baterai (V)	I Baterai (A)
1	0	14.10	0.47	13.20	1.02
2	10	14.10	0.40	13.24	1.01
3	20	14.10	0.39	13.25	0.99
4	30	14.10	0.40	13.26	1.00
5	40	14.10	0.45	13.28	1.01
6	50	14.10	0.47	13.30	1.02
7	60	14.10	0.41	13.33	1.01
8	70	14.10	0.45	13.37	1.00
9	80	14.10	0.43	13.39	0.99
10	90	14.10	0.42	13.40	1.00
11	100	14.10	0.43	13.42	0.99
12	110	14.10	0.40	13.43	0.97

Gambar 11 merupakan hubungan antara waktu pengisian dengan tegangan baterai, dapat dilihat bahwa waktu pengisian dengan tegangan baterai berbanding lurus, semakin naik waktu maka tegangan baterai juga semakin naik. Waktu pengisian dimulai pada menit 0 dan selesai menit 110. Pada menit 0 tegangan baterai sebesar 13.20 V dan pada menit 110 sebesar 13.43 V.

Gambar 12 merupakan hubungan antara waktu pengisian dengan arus baterai, dapat dilihat bahwa waktu pengisian dengan arus baterai berbanding terbalik, semakin naik waktu arus baterai semakin turun. Waktu pengisian dimulai pada menit 0 dan selesai pada menit 110. Pada menit 0 arus baterai sebesar 1.02 A dan pada menit 110 sebesar 0.97A.

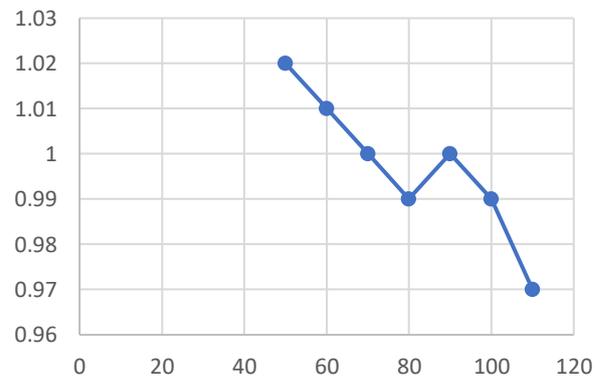
dengan arus baterai berbanding terbalik, semakin naik waktu arus baterai semakin turun. Waktu pengisian dimulai pada menit 0 dan selesai pada menit 110. Pada menit 0 arus baterai sebesar 1.02 A dan pada menit 110 sebesar 0.97A.

Hubungan antara Waktu Pengisian dengan Tegangan Baterai



Gambar 11. Hubungan waktu pengisian dengan tegangan baterai pengisian baterai 65Ah

Hubungan Waktu Pengisian dengan Arus Baterai



Gambar 12. Hubungan waktu pengisian dengan arus baterai pengisian baterai

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian, dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut. Sistem pengisian baterai menggunakan power supply 12Vdc dengan metode Constant Voltage (CV) melakukan pengisian baterai yang dibuktikan dengan setting tegangan sebesar 14Vdc dan 12Vdc sebagai tegangan supply rangkaian. Pada pengujian pengisian

baterai 12V 65Ah mampu memutus tegangan 13.23 V dan arus 0.56 A dan pengisian ke baterai terhenti. Pada pengujian pengisian baterai 12V 65Ah mampu memutus tegangan 13.43 V dan arus 0.97 A dan pengisian ke baterai terhenti.

## Referensi

- [1]. Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 55 Tahun 2019
- [2]. H. P. PUTRA, "Studi Karakteristik Pelepasan Muatan Baterai," 2010.
- [3]. Aurino P Adityawan, Dedi D Cahya, Legowo Sulistijono, Madyono, "Sistem Pengisian Batteray Lead Acid Secara Adaptive," PENS-ITS Sukolilo, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2013.
- [4]. H. ANDRI, "RANCANG BANGUN SYSTEM BATTERY CHARGING AUTOMATIC," 2010.
- [5]. Lilis Setiono, "Perancangan Mekanika dan Realisasi Kontrol Mobil Listrik", e-Proceeding of Engineering vol. 3, No. 3, Desember 2016.
- [6]. P. Prihananto, M. Facta, and S. Sudjadi, "PERANCANGAN CUT OFF SEBAGAI PEMUTUS TEGANGAN DAN ARUS SISTEM CHARGING BATERAI," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 7, no. 4, pp. 911-817, May. 2019.
- [7]. J. Ahmad, "Elektronika Dasar 1," *Elektron. Dasar 1*, pp. 1–68, 2007.
- [8]. B. S. R. TARIGAN, "RANCANG BANGUN SISTEM PENGEKASAN BATERAI DARI SOLAR CELL MEMANFAATKAN STIRLING ENGINE BERBASIS ATMEGA328," 2006.
- [9]. A. Malvino, "electronic-principles-7th-edition." .
- [10]. Rashid, M. H. "Power Electronics: Circuit, Devices, and Application". New Jersey: Pentice-Hall International Inc. 1993.
- [11]. G. M. Ehrlich, *Lithium-Ion Batteries*. 2002.
- [12]. J. López, S. I. Seleme, P. F. Donoso, L. M. F. Morais, P. C. Cortizo, and M. A. Severo, "Digital control strategy for a buck converter operating as a battery charger for stand-alone photovoltaic systems," *Sol. Energy*, vol. 74 140, pp. 171–187, 2016.
- [13]. J. Byrne, "The Proper Charging Of Stationary Lead-Acid Batteries (Your Battery Is Only As Good As How You Charge It.)," *Battcon'10*, pp. 1–6, 2010.
- [14]. I. Muhammad, "Rancang Bangun Sistem Pengisian Daya Pada Mobil Listrik Solar Cell," 2015.
- [15]. D. N. Nugroho, "Analisis pengisian baterai pada rancang bangun turbin angin poros vertikal tipe savonius untuk pencatuan beban listrik," 2011.