

## ESTIMASI STATE OF CHARGE PADA BATERAI LITHIUM ION MENGGUNAKAN METODE PERHITUNGAN COULOMB

### ESTIMATION STATE OF CHARGE OF LITHIUM ION BATTERY USING COULOMB COUNTING METHOD

Andica Dian Isnaini<sup>1</sup>, Suwandi<sup>2</sup>, Reza Fauzi Iskandar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

andicadianisnaini@gmail.com<sup>1</sup>, suwandi.sains@gmail.com<sup>2</sup>, rezafauzii@gmail.com<sup>3</sup>

---

#### Abstrak

Energi Listrik merupakan salah satu bentuk energi yang berperan penting dalam kemajuan peradaban manusia. Penyimpanan energi sangat penting untuk mendukung penyediaan pasokan waktu relatif lama, salah satunya adalah baterai. Baterai adalah salah satu media penyimpanan energi listrik yang dapat digunakan sewaktu-waktu serta dapat dengan mudah dipindahkan dari satu tempat ketempat lainnya. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja baterai diantaranya adalah kapasitas dan energi keluaran. Pada penelitian ini dirancang baterai manajemen sistem untuk memantau kinerja baterai pada saat pengisian dan pengosongan agar tidak berlebihan. Adapun beberapa indikator penting pada baterai seperti tegangan tiap sel, arus yang keluar atau masuk ke dalam baterai dapat dipantau dengan menggunakan parameter State of Charge (SOC). Dengan menggunakan parameter SOC baterai dapat menunjukkan keadaan pada saat pengosongan dan pengisian secara aman untuk meningkatkan daya tahan baterai. Salah satu metode estimasi SOC yang cukup mudah untuk diimplementasikan dan paling banyak digunakan adalah metode perhitungan coulomb. Prinsip dasar perhitungan coulomb adalah melakukan penjumlahan terhadap arus listrik yang masuk ataupun keluar pada baterai. Dari perhitungan coulomb inilah yang nantinya akan mendapatkan nilai SOC pada baterai tersebut.

Nilai SOC yang didapatkan dengan menggunakan beban lampu 15 watt 9.6 ohm pada proses pengisian adalah minimum 0%. dan maksimum 100%. Sedangkan pada proses pengosongan nilai SOC yang dihasilkan maksimum 99.99 % dan minimum 0.33%. Pada percobaan dengan menggunakan beban resistor 35 watt 77ohm pada proses pengisian hasil SOC yang diperoleh adalah minimum 21.51%. dan maksimum 100%. Sedangkan pada proses pengosongan nilai SOC maksimum 99.99 % dan minimum 0%.

**Kata Kunci: Energi Listrik, Baterai, SOC, Perhitungan Coulomb**

---

#### Abstract

An electrical energy is one of energy forms has important role in progressing of human civilization. The storage of energy is very important to support the provision of supplies in a relative long time, one of them is battery. The battery is one of the media storage of electrical energy that can be used for any time and can be moved easily from one place to another. There are several factors that affected in the performance of batteries that is not overload when filled and emptied process. There are some important indicators on the batteries such as strained in every cell, out or in current to the battery can be observed by using the parameters of state of charge (SOC). By using parameters of SOC, the battery can show its condition safety when filled and emptied process to improve battery's life. One of SOC method which is easy to be implemented and mostly used, the method of coulomb counting. The basic principle of coulomb counting to conduct amount of in or out current of battery. From the coulomb counting, it is going to get value of SOC in the battery.

SOC value obtained by using a 15-watt light load of 9.6 ohms at minimum charging process is 0%. and a maximum of 100%, while in the process of emptying the resulting SOC maximum value of 99.99% and a minimum 0.33%. In experiments using 35 watt resistor 77ohm load on the charging process results obtained SOC is 21.51% minimum. and a maximum of 100%, while in the process of emptying the SOC maximum value of 99.99% and a minimum of 0%.

**KeyWords: Electrical energy, battery, SOC, Coloumb Counting**

---

## 1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang berperan penting dalam kemajuan peradaban manusia. Selama ini persediaan energi listrik umumnya dipasok oleh sumber-sumber energi fosil. Namun demikian, dengan terjadinya krisis minyak banyak pihak yang mencari alternatif baru dalam penyediaan sumber energi terutama berasal dari sumber energi terbarukan. Untuk mendukung penyedia energi tersebut, penyimpanan energi menjadi sangat penting untuk menyediakan pasokan yang handal dan kontinu dalam waktu yang relatif lama, salah satunya adalah baterai [1].

Baterai adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi listrik untuk digunakan sesuai dengan keperluannya sewaktu-waktu serta dapat dengan mudah dipindahkan dari satu tempat ketempat lainnya. Sebagai contoh dalam skala kecil yaitu, penggunaan baterai untuk laptop dan telepon genggam. Selama ini sebagian besar masyarakat tidak mengetahui kualitas baterai yang digunakan sehingga pemantauan baterai sangat diperlukan untuk mengetahui bagaimana kinerja dari baterai. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja baterai diantaranya adalah kapasitas dan energi keluaran [2]. Sebagai contoh, jika dibandingkan dengan baterai baru, baterai yang disimpan kapasitasnya akan menurun, hal ini dikarenakan pengaruh dari suhu dan waktu penyimpanan yang lama [2]. Dari faktor yang telah dijelaskan muncul sebuah ide untuk membuat sebuah alat yang mampu memonitoring kinerja baterai agar dapat meminimalisir menurunnya kinerja baterai. Hal yang perlu diperhatikan saat *monitoring* adalah tegangan, status pada pengisian dan pengosongan [3].

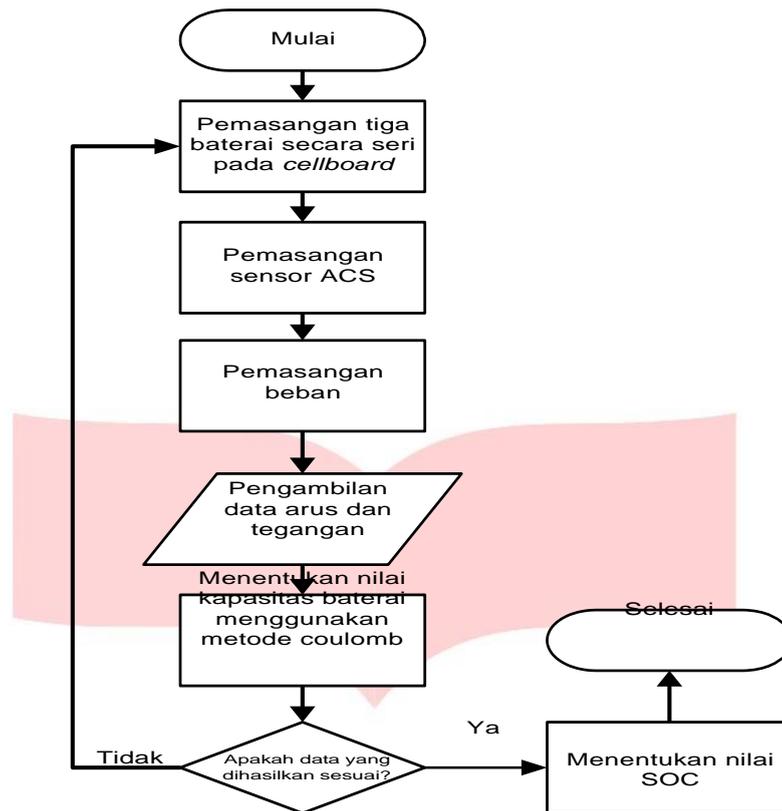
Salah satu metode estimasi SOC yang cukup mudah diimplementasikan dan paling banyak digunakan adalah metode perhitungan coulomb. Prinsip dasar metode perhitungan *coulomb* adalah melakukan penjumlahan terhadap arus listrik yang masuk ataupun keluar dari baterai [4]. Selain itu, suhu dan arus dapat mempengaruhi keakuratan kapasitas pada SOC [5]. Dari data penelitian yang sudah ada, dengan menggunakan metode *kalman filter* membuktikan bahwa error pada SOC menggunakan baterai Lithium ion tidak melebihi 4% [6], sedangkan apabila menggunakan perhitungan *coulomb error* yang terjadi 2.43% [7]. Walaupun *error* yang didapat kecil tetapi perhitungan *coulomb* mempunyai kekurangan yaitu terjadinya akumulasi galat pembacaan SOC akibat kesalahan saat penentuan SOC awal, proses integrasi numerik, dan kesalahan pembacaan sensor arus akibat derau. Akumulasi galat ini menyebabkan baterai monitoring mendeteksi kondisi *undercharge* atau *overcharge* sehingga berpotensi merusak baterai [8].

Pada jurnal ini penulis membuat sistem monitoring baterai untuk jenis Lithium ion dan menentukan nilai *State of Charge* menggunakan metode perhitungan *coulomb*. Pada sistem monitoring baterai ada beberapa indikator yang ditampilkan diantaranya adalah tegangan masing-masing baterai, tegangan total, arus dan nilai SOC.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Gambaran Umum Sistem

Pada gambaran umum pembuatan sistem monitoring baterai terdapat dua proses yaitu pengisian dan pengosongan. Beberapa komponen utama yang terdapat pada proses pengisian dan pengosongan, yaitu Arduino, sensor ACS 712, beban, baterai lithium ion, catu daya dan laptop. Berikut merupakan alur cara kerja sistem



Gambar 1 Cara kerja sistem

### 2.1.1 Proses Pengosongan

Pada baterai yang telah terisi muatan disambungkan pada *cellboard* yang memiliki rangkaian pembagi tegangan. *Cellboard* berfungsi sebagai sensor tegangan. Selain itu pada beban disambungkan pada *output* Arduino. *Cellboard* dan sensor arus yang terdapat data pengukuran arus saat pembebanan dihubungkan pada *Input* Arduino yang kemudian ditampilkan melalui serial. Data yang telah tersimpan pada Arduino ditampilkan pada laptop.

### 2.1.2 Proses Pengisian

Pada proses pengisian sedikit berbeda pada saat pengosongan. Apabila proses pengisian menggunakan catu daya yang berfungsi sebagai sumber untuk mengisi baterai. Berikut skema proses pengisian.

Pada baterai yang belum terisi muatan disambungkan pada *cellboard* yang memiliki rangkaian pembagi tegangan. *Cellboard* berfungsi sebagai sensor tegangan. Selain itu output dari catu daya yang memiliki kutub positif disambungkan pada *cellboard* kutub positif. Selanjutnya pada output sensor arus kutub positif disambungkan pada kutub negative output catu daya dan untuk kutub negative sensor arus langsung disambungkan pada kutub negative baterai. Untuk output pada *cellboard* disambungkan pada digital analog yang terdapat pada baterai yang nanti digunakan untuk mengambil data tegangan pada baterai. Selain itu, input pada sensor arus dihubungkan pada arduino yang nantinya digunakan untuk mengambil data arus yang masuk pada baterai. Dari arduino kemudian disambungkan pada laptop yang berfungsi untuk menampilkan data-data yang telah ada.

## 2.2 Metode Perhitungan Coulomb

Metode perhitungan *coulomb* adalah metode yang digunakan untuk menghitung muatan listrik (*coulomb*) yang masuk atau keluar melalui baterai. Arus listrik dihasilkan dari sejumlah muatan listrik yang bergerak per satuan waktu (detik). Dengan mengintegalkan arus listrik yang mengalir ke baterai terhadap waktu maka didapatkan muatan listrik total yang masuk atau keluar dari baterai. Pada metode ini, nilai kapasitas baterai dengan satuan Ah ditentukan terlebih dahulu sebelum menghitung nilai SOC [9]. Setelah mendapatkan nilai kapasitas baterai tahap selanjutnya adalah menentukan nilai SOC baterai. Persamaan 1 dan 2 menunjukkan model perhitungannya.

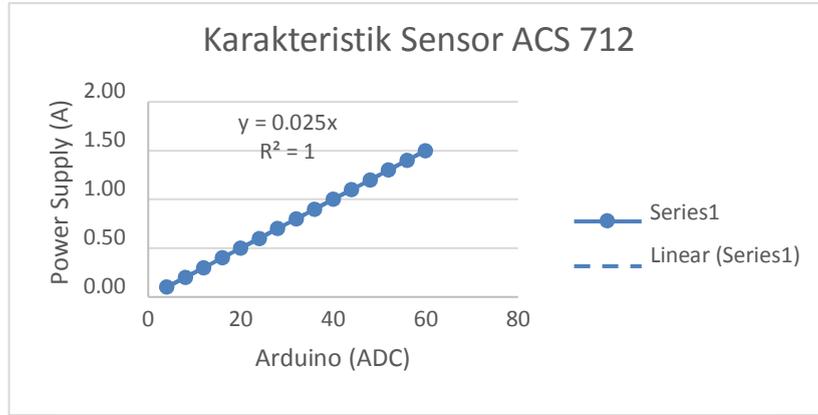
$$Q = \int i dt \quad (1)$$

$$SOC = \left(1 - \frac{Q}{Q_{max}}\right) 100\% \quad (2)$$

Dengan,  $Q$  merupakan nilai kapasitas baterai ketika arus masuk atau keluar,  $Q_{max}$  adalah nilai kapasitas baterai yang terukur dan SOC nilai sisa dari kapasitas baterai dalam bentuk persentase.

**2.3 Karakteristik Sensor Arus**

Sensor arus merupakan komponen penting dalam sistem yang berfungsi untuk pembacaan arus yang masuk ke baterai dan nantinya akan digunakan pada perhitungan coulomb. Sebelum digunakan pada sistem maka perlu dilakukan karakterisasi untuk mengetahui keakuratan sensor ACS. Karakterisasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran sensor arus yang telah terbaca pada Arduino dengan multimeter. Gambar 2. merupakan grafik hasil pengujian sensor ACS 712.

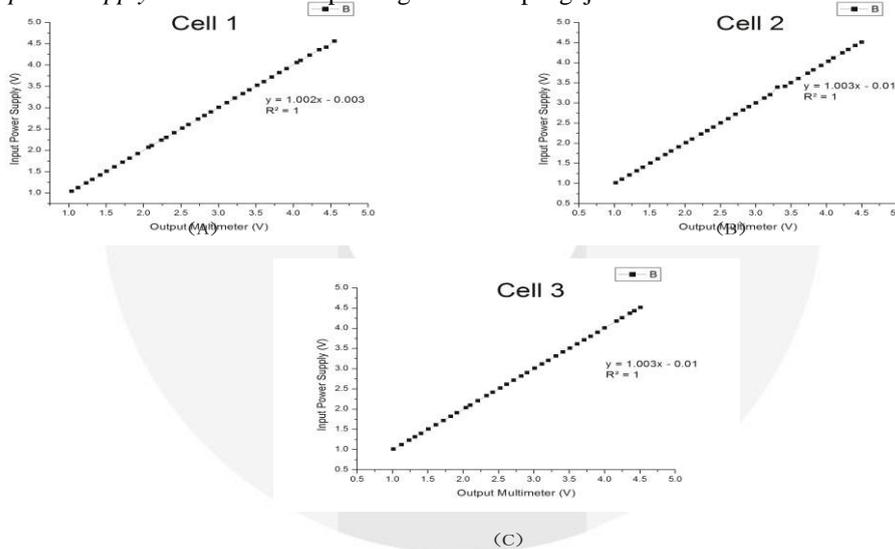


Gambar 2 Karakteristik sensor ACS

Gambar 2 memperlihatkan grafik karakterisasi sensor ACS 712 dalam satuan Ampere, pada gambar tersebut terlihat grafik berbentuk linier dengan korelasi  $R^2=1$ . Hal ini menunjukkan bahwa sensor arus ACS 712 layak untuk digunakan.

**2.4 Karakterisasi Cellboard**

Pada penelitian kali ini *cellboard* menggunakan rangkaian Op-Amp *diferensiator*, yang tersusun atas op-amp 4580DD dan resistor 10K. Sebelum dirangkai pada sistem, *cellboard* ini perlu dikarakterisasi terlebih dahulu menggunakan *power supply*. Gambar 3 merupakan grafik hasil pengujian *cellboard*.



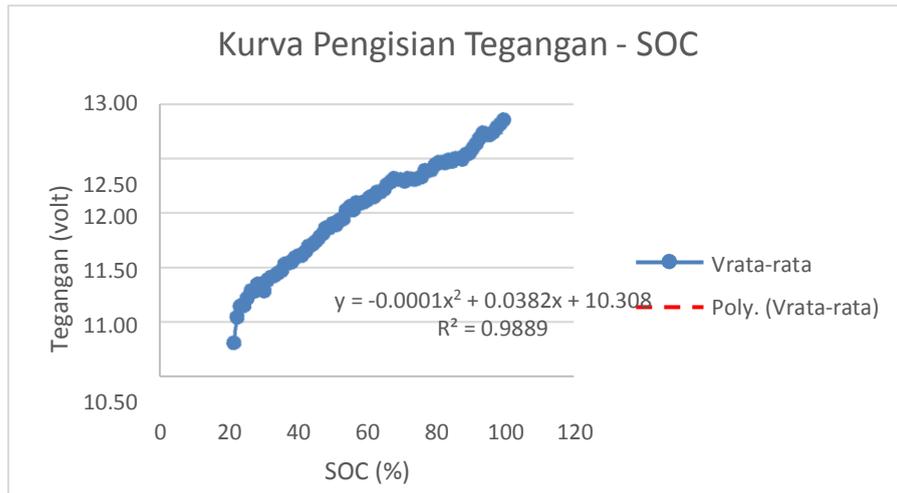
Gambar 3 Karakterisasi Cellboard : cell 1 (a), cell 2 (b), cell 3 (c)

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa grafik yang didapatkan berbentuk linier, hal ini menunjukkan bahwa *cellboard* layak untuk digunakan.

**3. Pembahasan Pengujian Pengisian dan Pengosongan Baterai**

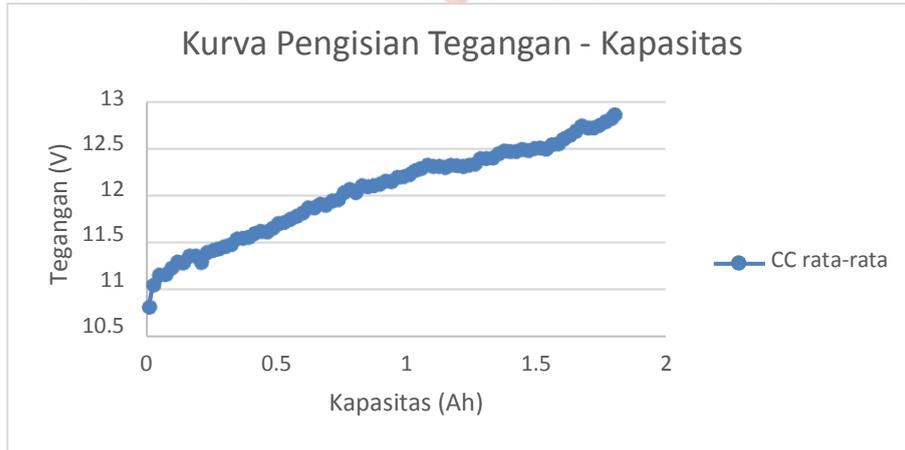
**3.1 Percobaan 1**

Pada percobaan 1 terdapat dua proses, yaitu pengisian dan pengosongan. Untuk proses pengosongan menggunakan beban resistor 35watt 77ohm. Pada percobaan kali ini saat proses pengisian memerlukan waktu 18 jam. Dengan hasil SOC minimum 21.51%. dan maksimum 100% Sedangkan pada proses pengosongan waktu yang diperlukan adalah 21 jam dengan nilai SOC maksimum 99.99 % dan minimum 0%.



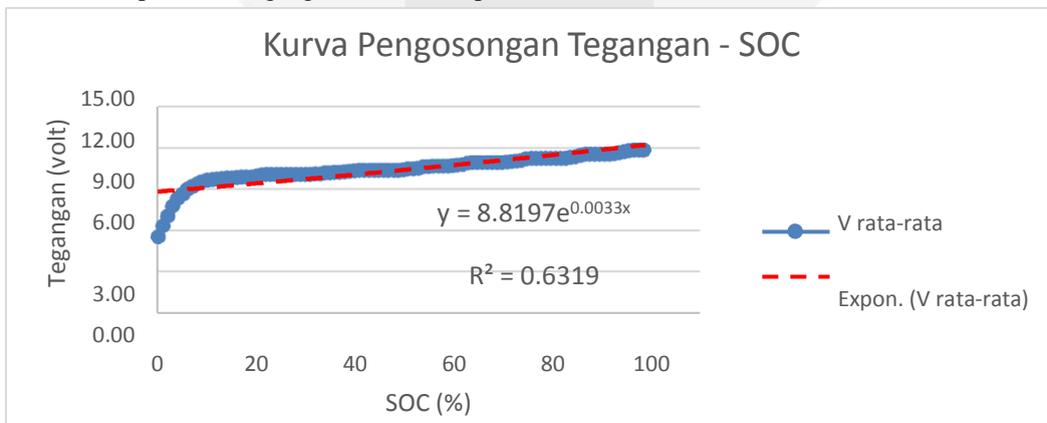
Gambar 4 Proses pengisian tegangan - SOC

Pada gambar 4, titik potong bawah berada pada tegangan 11.34 volt dan titik atas 12.51 volt. Titik pada kurva pengisian tersebut menandakan tegangan akan memuncak menuju tegangan maksimum pengisian. Baterai mulai mengalami pengisian pada saat tegangan awal 10.79 volt dengan tegangan minimum tiap baterai adalah 3.2 volt.



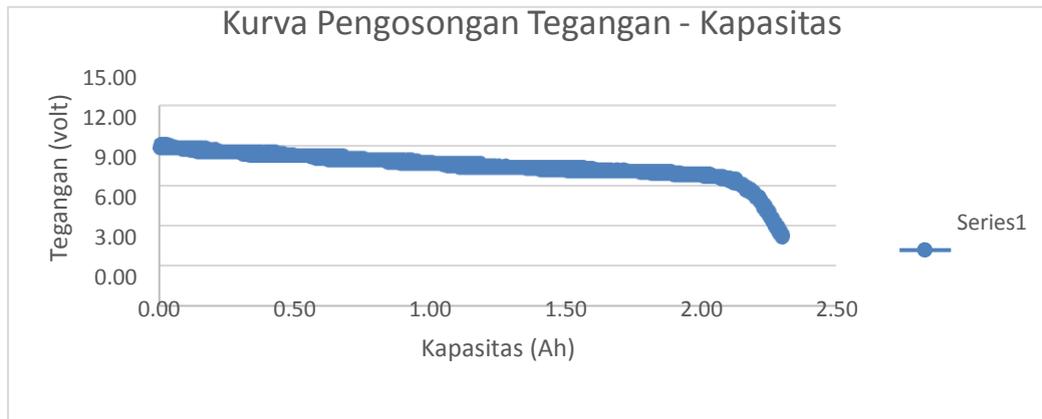
Gambar 5 Kurva pengisian tegangan – kapasitas

Kapasitas digunakan untuk menentukan nilai SOC pada saat mengukur tegangan baterai. Pada gambar 5 menunjukkan bahwa pada saat tegangan 11.5 volt kapasitas dari baterai bernilai 0.34 Ah.



Gambar 6 Kurva Pengosongan Tegangan – SOC

Gambar 6 merupakan kurva pengosongan dengan menggunakan beban berupa resistor 35 watt 77ohm. Titik potong bawah pada kurva gambar 6 terdapat pada saat tegangan 9.68 volt sedangkan titik potong atas berada pada tegangan 10.81 volt.

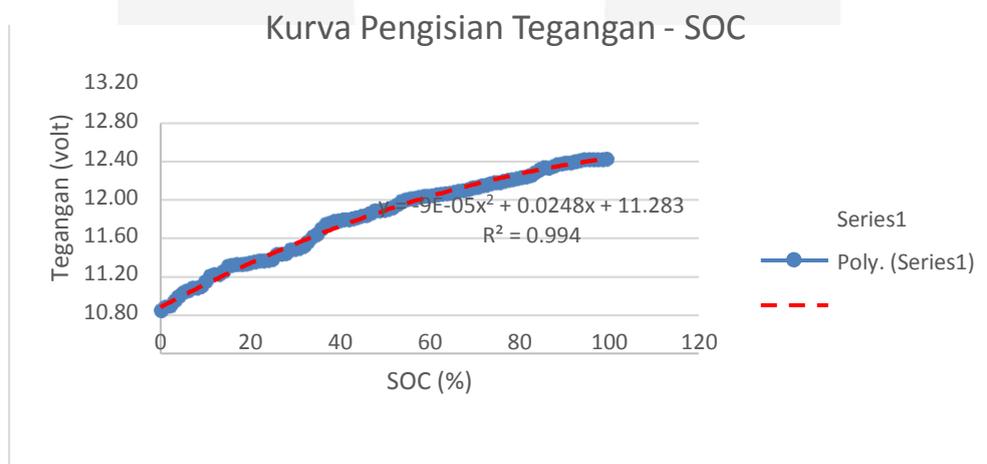


Gambar 7 Kurva Pengosongan Tegangan – Kapasitas

Pada tegangan yang sama dengan kurva saat pengisian yaitu 11.5 volt gambar 7 menunjukkan kurva pengosongan dan baterai menghasilkan kapasitas senilai 0.31 Ah

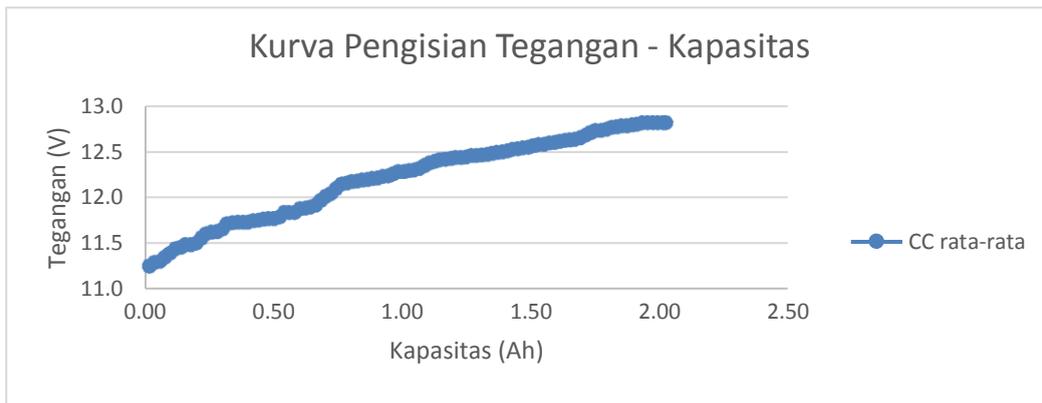
### 3.2 Percobaan 2

Pada percobaan 2 terdapat dua proses, yaitu pengisian dan pengosongan. Untuk proses pengosongan menggunakan beban lampu LED 15 watt 9.6 ohm. Pada percobaan kali ini saat proses pengisian memerlukan waktu 19 jam. Dengan hasil SOC minimum 0%. dan maksimum 100% Sedangkan pada proses pengosongan waktu yang diperlukan adalah 20 jam dengan nilai SOC maksimum 99.99 % dan minimum 0.33%.



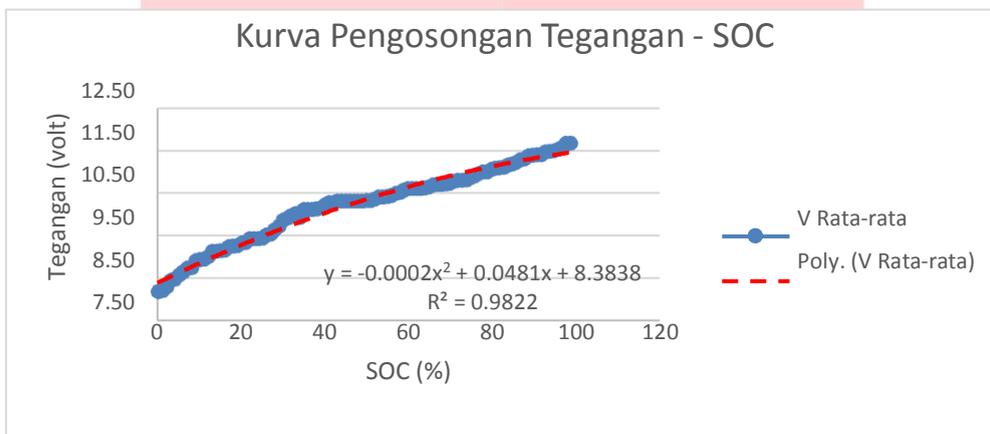
Gambar 8 Proses pengisian tegangan - SOC

Pada gambar 8, titik potong bawah berada pada tegangan 11.7 volt dan titik atas 12.65 volt. Titik atas pada kurva pengisian tersebut menandakan tegangan akan memuncak menuju tegangan maksimum pengisian. Baterai mulai mengalami pengisian pada saat tegangan awal 11.2 volt dengan tegangan minimum tiap sel baterai adalah 3.5 volt.



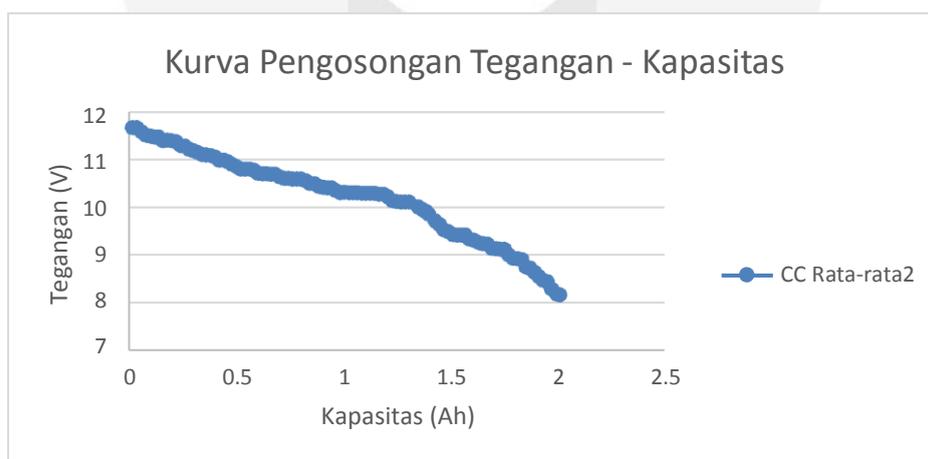
Gambar 9 Kurva pengisian Tegangan – Kapasitas

Pada gambar 9, menunjukan bahwa pada saat tegangan 11.5 volt kapasitas dari baterai bernilai 0.19 Ah.



Gambar 10. Kurva pengosongan tegangan – SOC

Gambar 10 merupakan kurva pengosongan dengan menggunakan beban berupa lampu 15watt 9.6 ohm. Titik potong bawah pada kurva gambar 10 terdapat pada saat tegangan 9.3 volt sedangkan titik potong atas berada pada tegangan 10.31 volt. Setelah melewati titik potong bawah tegangan akan selalu turun sampai mencapai tegangan minimum pada baterai yaitu 8.13 volt.



Gambar 11. Kurva pengosongan tegangan – kapasitas

Dari gambar 11 menunjukan ketika kapasitas 0.11 Ah menunjukan tegangan baterai 11.5 volt. Dengan tegangan yang sama pada saat pengisian yaitu 11.5 volt nilai kapasitas dari baterai tidak jauh berbeda.

#### 4. Kesimpulan

1. Nilai SOC tidak dapat diketahui sebelum menentukan nilai kapasitas menggunakan metode perhitungan *coulomb*.
2. Nilai SOC yang didapatkan dengan menggunakan beban lampu 15 watt 9.6 ohm pada proses pengisian adalah minimum 0%. dan maksimum 100% Sedangkan pada proses pengosongan nilai SOC yang dihasilkan maksimum 99.99 % dan minimum 0.33%. Pada percobaan dengan menggunakan beban resistor 35 watt 77ohm pada proses pengisian hasil SOC yang diperoleh adalah minimum 21.51%. dan maksimum 100% Sedangkan pada proses pengosongan nilai SOC maksimum 99.99 % dan minimum 0%.
3. Dengan menggunakan perhitungan waktu C20, dimana waktu yang dibutuhkan untuk proses pengosongan sekitar 20 jam. Proses pengosongan menggunakan beban lampu 15watt 9.6ohm membutuhkan waktu yaitu 20 jam sedangkan apabila menggunakan resistor 35watt 77ohm memerlukan waktu 21 jam.
4. Dengan menggunakan beban resistor proses pengisian dan pengosongan pada saat tegangan 11.5 volt memiliki nilai kapasitas yang tidak jauh beda yaitu 0.34 Ah dan 0.31 Ah. Sedangkan saat menggunakan beban lampu dengan nilai tegangan 11.5 volt saat pengisian dan pengosongan nilai kapasitasnya tidak jauh berbeda yaitu 0.19 Ah dan 0.11 Ah.

#### Daftar Pustaka

1. C. Hudaya, "Peranan Riset Baterai Sekunder dalam Mendukung Penyediaan Energi Bersih Di Indonesia 2025," Korea, 2011.
2. D. Linden and T. B. Reddy, *Handbook of Batteries*, United States: The McGraw-Hill Companies, Inc, 1995.
3. Bergveld, Hendrik Johannes, *Battery Management System Design by Modelling*, Eindhoven: Royal Philips Electronics, 2001.
4. B. Vairamohan, "Master Thesis: "State of Charge Estimation for Batteries," 2002.
5. F. Feng, R. Lu and C. Zhu, "A Combined State of Charge Estimation Methode for Lithium Ion Batteries Used in a Wide Ambient Temperature Range," *Energies*, p. 7, 2014.
6. S. Sepasi, R. Ghorbani and B. Y. Liaw, "A novel on-board state of charge estimation method for aged Li-ion batteries based on model adaptive extended Kalman Filter," 2014.
7. K. S. Ng, C. S. Moo, Y. P. Chen and Y. C. Hsieh, "Enhanced *COULOMB* Counting Method for Estimating State of Charge and State of Health of Lithium Ion Batteries," *Applied Energy*, pp. 1506-1511, 2009.
8. A. Nugroho and E. Rijanto, "Simulasi Optimasi Pengukuran State of Charge Baterai dengan Integral Observer".
9. e. a. Frans Edison, "Estimasi state of charge pada baterai VRLA dengan metode perhitungan *coulomb*," Final Project, 2013.