

## **Estimasi *State of Charge* Pada Baterai Li-ion Dengan Menggunakan Metode *Coulomb Counting***

**Kesya M. M. Bawango, Hesky S. Kolibu\*, dan Seni H. J. Tongkukut**

Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi, Manado, 95115

\*Corresponding author: [heskykolibu@unsrat.ac.id](mailto:heskykolibu@unsrat.ac.id)

### **Abstrak**

Baterai berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi yang dihasilkan dari sumber energi dan dapat digunakan untuk menyuplai energi saat sumber energi utama tidak tersedia. Dengan demikian, baterai memungkinkan penyimpanan energi dan penggunaannya dalam waktu yang fleksibel. Monitoring baterai diperlukan agar performa baterai dapat mencapai maksimal. Salah satu aspek monitoring baterai adalah mengestimasi *state of charge* (SOC). Penelitian ini melibatkan empat merek baterai Li-ion yang berbeda, dengan pengambilan data arus dan tegangan selama proses pengosongan baterai dilakukan selama 60 menit dan berlanjut sampai tegangan baterai mencapai batas bawah yaitu 3 volt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Coulomb Counting* efektif dalam mengestimasi SOC pada baterai Li-ion. Baterai A menunjukkan penurunan SOC mencapai batas bawah dalam waktu 31 menit. Baterai B menunjukkan SOC stabil pada tingkat yang tinggi, menurun secara gradual dan mencapai batas bawah dalam waktu 137 menit. Baterai C menunjukkan penurunan SOC secara gradual hingga mencapai batas bawah dalam waktu 88 menit. Baterai D menunjukkan SOC menurun secara stabil dan mencapai batas bawah dalam waktu 130 menit. Baterai dengan kapasitas lebih tinggi menunjukkan penurunan SOC yang lebih lambat dan stabil, sementara baterai dengan kapasitas lebih rendah menunjukkan penurunan SOC yang lebih cepat. Dengan mengetahui nilai SOC, pengguna dapat mengoptimalkan penggunaan baterai dan mencegah kerusakan akibat pengosongan (*discharge*) berlebihan atau penggunaan baterai dalam kondisi SOC yang rendah.

Kata Kunci: Baterai, *Coulomb Counting*, Li-ion, *State of Charge*.

## ***Estimation of State of Charge in Li-ion Batteries Using the Coulomb Counting Method***

### **Abstract**

The battery functions as a storage place for energy produced from an energy source and can be used to supply power when the main energy source is not available. Thus, batteries enable energy storage and use over a flexible period of time. Battery monitoring is necessary so that battery performance can reach maximum. One aspect of battery monitoring is estimating the state of charge (SOC). This research involved four different brands of Li-ion batteries, with current and voltage data taken during the battery discharging process for 60 minutes and continuing until the battery voltage reached the lower limit of 3 volts. The research results show that the Coulomb Counting method is effective in estimating SOC in Li-ion batteries. Battery A showed a decrease in SOC reaching the lower limit within 31 minutes. Battery B shows a stable SOC at a high level, decreases gradually and reaches the lower limit within 137 minutes. Battery C shows a gradual decrease in SOC until it reaches the lower limit within 88 minutes. Battery D showed SOC decreasing steadily and reaching the lower limit within 130 minutes. Batteries with higher capacities show a slower and more steady decline in SOC, while batteries with lower capacities show a faster decline in SOC. By knowing the SOC value, users can optimize battery use and prevent damage due to excessive discharge or battery use in low SOC conditions.

Keywords: Battery, *Coulomb Counting*, Li-ion, *State of Charge*.

## PENDAHULUAN

Energi bersifat abstrak yang sulit untuk dibuktikan secara langsung, namun keberadaannya dapat dirasakan dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari. Hukum Kekekalan Energi menyatakan bahwa energi tidak dapat dihilangkan, diciptakan maupun dihancurkan, namun hanya bisa diubah dari satu bentuk energi ke bentuk energi lainnya. (Muskhir & Latif, 2021). Kebutuhan akan energi, terutama energi listrik, merupakan faktor krusial yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Energi listrik sangat bermanfaat dan sangat dibutuhkan dalam kehidupan manusia (Jumadi, 2015). Energi listrik digunakan dalam berbagai sektor kehidupan, termasuk untuk memenuhi kebutuhan pangan, perumahan, transportasi, dan industri. Penggunaan energi fosil sebagai sumber utama energi masih dominan, tetapi memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, seperti emisi gas rumah kaca dan polusi udara. Selain itu, keterbatasan bahan bakar fosil yang semakin menipis memperkuat urgensi pengembangan sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable energy*).

Energi Baru Terbarukan (EBT) merupakan solusi yang diusung untuk mengatasi tantangan energi dan dampak lingkungan yang dihadapi saat ini. Sumber-sumber energi terbarukan, seperti tenaga air, panas bumi, cahaya matahari, dan tenaga angin, menawarkan potensi untuk menghasilkan energi yang bersih, berkelanjutan, dan tidak terbatas. EBT menjadi salah satu sumber alternatif penyediaan energi, karena selain memiliki dampak yang rendah terhadap kerusakan lingkungan, juga menjamin keberlanjutan energi hingga masa mendatang (Setyono *et al.*, 2019). Pemanfaatan EBT dapat mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan mengurangi dampak lingkungan negatif. Dalam implementasi EBT, Baterai memainkan peran yang krusial sebagai komponen penyimpanan energi. Baterai adalah perangkat yang mengandung sel listrik yang dapat menyimpan energi yang dapat dikonversi menjadi daya. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia (Dayanti, 2018). Baterai berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi yang dihasilkan dari sumber energi terbarukan, seperti panel surya atau turbin angin. Baterai juga digunakan untuk menyuplai energi saat sumber energi utama tidak tersedia, seperti pada malam hari atau saat kurangnya angin. Namun baterai memiliki usia dan penurunan kualitas yang terbilang cukup singkat sehingga dibutuhkan perhatian dalam menggunakannya karena harus mengganti baterai secara berkala (King *et al.*, 2020)

Baterai Li-ion merupakan salah satu teknologi penyimpanan energi yang digunakan dalam sistem Energi Baru Terbarukan (EBT). Baterai Li-ion memiliki banyak keunggulan, seperti kapasitas daya yang baik dan keefisienan yang tinggi, namun meskipun demikian, baterai juga memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Salah satu kelemahan utama adalah kapasitas daya terbatas yang dapat ditampung oleh baterai, yang membatasi penggunaannya dalam aplikasi yang membutuhkan daya tinggi atau jangka waktu yang lama.

Oleh karena itu monitoring baterai diperlukan agar performa baterai dapat mencapai maksimal. Salah satu aspek monitoring baterai adalah mengestimasi *state of charge* (SOC) yang merupakan perbandingan energi yang tersisa dengan kapasitas energi maksimum pada baterai (Rahmawan, 2018). SOC diartikan sebagai sisa kapasitas di dalam sel baterai terhadap total kapasitas baterai dalam bentuk persentase. Informasi SOC yang akurat sangat diperlukan sebagai gambaran dari performa baterai dan acuan untuk sistem manajemen baterai (Hardiana, 2018).

Metode untuk mengestimasi SOC ada bermacam-macam yang salah satunya adalah metode perhitungan *Coulomb* atau *Coulomb Counting*. *Coulomb Counting* adalah sebuah metode yang mengukur kapasitas baterai dengan membandingkan arus yang keluar atau masuk pada baterai (Sugeng & Saputra, 2019). Kelebihan metode ini adalah presisi, mudah diterapkan, akurasi dan error hanya dari faktor sensor yang digunakan. Metode ini memanfaatkan nilai dari konsumsi arus dan kapasitas total dari baterai (Sumantri *et al.*, 2018). Diperlukan sistem estimasi *state of charge* yang akurat, sehingga mampu mendeteksi ketika batas atas tegangan pengisian baterai telah tercapai untuk mencegah baterai dari kerusakan *overcharge*. Selain itu, batas bawah dari tegangan baterai juga harus diperhatikan agar tidak terjadi *overdischarge* (Farizy, 2016).

## METODOLOGI

### Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Mei 2022 sampai Juli 2023, di Laboratorium Fisika Lanjut, Jurusan Fisika Universitas Sam Ratulangi Manado.

### Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan antara lain adalah Baterai Li-ion beberapa merek, beban kipas angin portable, *modul charge*, kabel penghubung, multimeter digital dan perangkat lunak MATLAB

### Prosedur Penelitian

#### Persiapan dan Perancangan Alat

Pada tahap ini, komponen-komponen elektronik yang diperlukan, seperti baterai, beban kipas angin *portable*, kabel penghubung, *modul charge*, dipilih dan dirancang sesuai dengan kebutuhan sistem, seperti pada gambar berikut:



**Gambar 1.** Rancangan Alat Pada Proses Pengosongan

### Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada proses pengosongan baterai (*discharge*). Awalnya baterai diisi penuh dengan *modul charge* TP4056 sehingga nilai SOC 100%. Selanjutnya dilakukan pengosongan dengan ketentuan waktu selama 60 menit. Jenis data yang diambil berupa data tegangan baterai dan arus yang mengalir pada baterai, dengan menggunakan multimeter digital.

### Pengolahan Data

Data arus dan tegangan yang telah dicatat selama proses pengosongan baterai diolah menggunakan metode *Coulomb Counting* untuk mengestimasi *State of Charge* (SOC) baterai pada setiap titik waktu. Pengolahan data ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB, dengan persamaan:

$$SOC(t) = SOC(t_0) - \frac{1}{C_n} \int_{t_0}^t I dt$$

Keterangan:

Q : Muatan Listrik (*coulomb* atau Ah)

SOC : SOC awal sebelum terjadi proses pengosongan (*persentase*)

C<sub>n</sub> : Kapasitas maksimum baterai (*coulomb* atau Ah)

I : Besar arus listrik yang masuk atau keluar dari baterai (*ampere*)

t : Waktu (*menit*)

## Analisis

Data disajikan dalam bentuk grafik untuk melihat perubahan tegangan, arus dan SOC baterai Li-ion. Pola perilaku baterai diidentifikasi, seperti perubahan SOC seiring waktu atau fluktuasi tegangan dan arus saat penggunaan baterai.

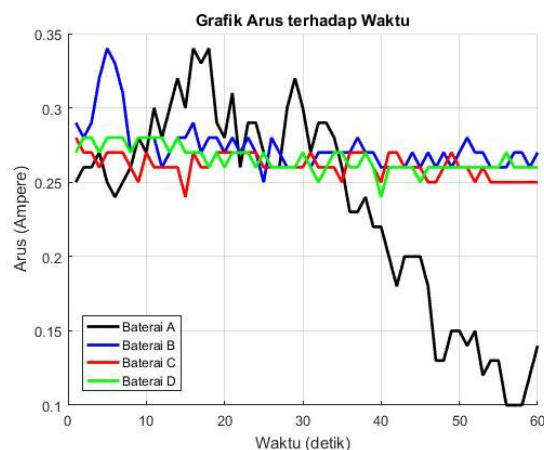
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Proses Pengosongan Baterai

Komponen alat disusun berdasarkan desain rancangan sebelumnya, menjadi rangkaian pengosongan baterai (*discharge*) untuk melakukan estimasi *state of charge* (SOC) baterai. Pengukuran dilakukan pada empat baterai Lithium-ion berbagai merek. Proses pengosongan dilakukan dengan menghubungkan beban pada baterai. Saat dinyalakan, beban kipas angin kecil akan mendapatkan pasokan daya dari baterai tersebut. Sebelum proses pengosongan baterai dilakukan, baterai terlebih dahulu diisi daya hingga mencapai tegangan maksimumnya, pengisian menggunakan *modul charge*. Setelah itu proses pengosongan baterai dilakukan dengan ketentuan pengambilan data pada interval waktu tertentu, yaitu setiap 1 menit, selama total waktu pengosongan 60 menit. Dengan cara ini, diperoleh data arus dan tegangan baterai yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan nilai SOC masing-masing baterai menggunakan metode *Coulomb Counting*.

### Arus Baterai

Pada gambar 2 dapat dilihat nilai arus untuk masing-masing baterai selama proses pengosongan selama 60 menit menunjukkan variasi arus yang berbeda-beda untuk setiap baterai. Baterai A mengalami fluktuasi arus yang signifikan selama proses pengamatan, sedangkan Baterai B, Baterai C dan Baterai D cenderung memiliki arus yang lebih stabil selama proses pengosongan. Nilai arus pada keempat baterai yang mengalami fluktuasi, sebagian besar dipengaruhi oleh karakteristik dan perilaku baterai Li-ion itu sendiri. Baterai Li-ion adalah baterai yang kompleks, dan arusnya sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kondisi baterai, resistansi internal, dan tingkat pengosongan. Selama pengosongan, resistansi internal baterai dapat berubah seiring dengan berkurangnya kapasitas, yang dapat mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan. Selain itu, fluktuasi arus juga bisa dipengaruhi oleh perubahan kecil dalam pengukuran arus dan tingkat ketidakpastian dalam pengukuran tersebut.

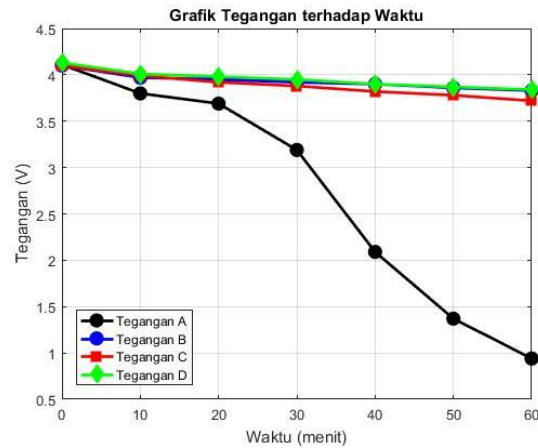


**Gambar 2.** Grafik Arus Keempat Baterai

### Tegangan Baterai

Grafik hubungan tegangan dan waktu pada keempat baterai, menunjukkan karakteristik penurunan tegangan selama proses pengosongan. Setiap baterai menunjukkan tren penurunan tegangan yang berbeda-beda. Baterai A menunjukkan penurunan tegangan yang lebih cepat dibandingkan dengan baterai lainnya. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kualitas baterai mungkin lebih rendah, sehingga memiliki resistansi internal yang tinggi dan efisiensi yang kurang optimal dalam menyimpan muatan. Baterai B menunjukkan

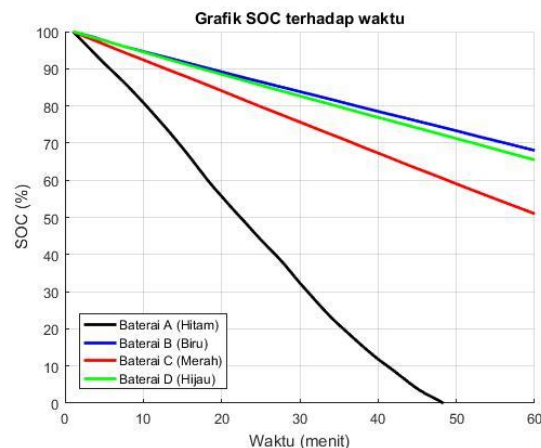
penurunan tegangan yang lebih lambat dibandingkan dengan baterai pertama. Baterai C dan Baterai D tampak serupa, grafiknya menunjukkan penurunan tegangan yang relatif cepat di awal pengosongan, tetapi kemudian cenderung datar dan stabil. Hal ini bisa mengindikasikan bahwa baterai ini memiliki resistansi internal yang sedang, dan tegangan baterai dapat dipertahankan dalam jangka waktu tertentu sebelum akhirnya menurun dengan lebih cepat. Baterai dengan kualitas dan kapasitas yang lebih baik mampu mempertahankan tegangan yang lebih tinggi selama proses pengosongan, sementara baterai dengan kualitas rendah mungkin mengalami penurunan tegangan yang lebih cepat.



**Gambar 3.** Grafik Tegangan Keempat Baterai

### Perhitungan *State of Charge*

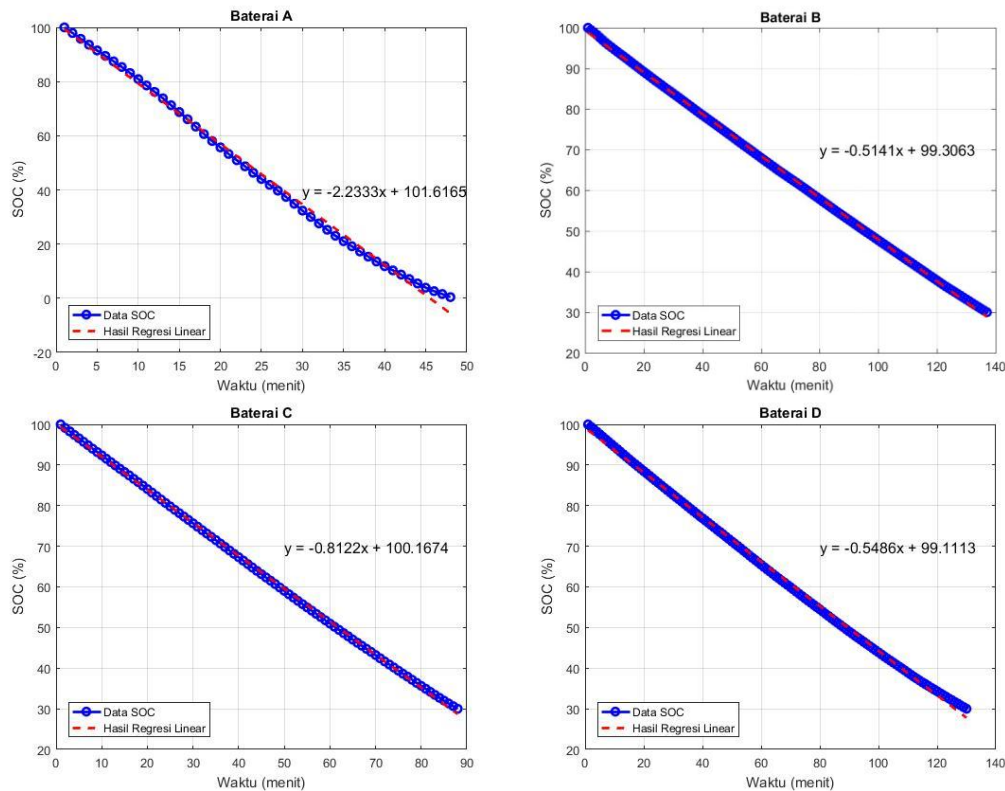
Sebelum melakukan proses pengosongan baterai, langkah awal yang dilakukan adalah mengisi baterai hingga mencapai tegangan maksimum atau kapasitas penuh (SOC 100%). Dalam penelitian ini, pengisian baterai dilakukan hingga mencapai nilai tegangan maksimum dengan rata-rata sebesar 4,11 Volt dan nilai tegangan minimum yang ditetapkan adalah 3 Volt. Perhitungan SOC pada masing-masing baterai dilakukan berdasarkan data arus dan tegangan yang telah diambil selama proses pengosongan. Proses pengolahan data arus dan tegangan dilakukan menggunakan kode program dalam bahasa Matlab. Berikut ini merupakan grafik SOC keempat Baterai pada proses pengosongan selama 60 menit, yang menggambarkan perubahan tingkat muatan baterai seiring berjalannya waktu:



**Gambar 4.** Grafik SOC Keempat Baterai selama 60 Menit

Perhitungan SOC dilanjutkan sampai masing-masing baterai mencapai batas bawah tegangan 3 Volt, batas yang mempresentasikan kondisi di mana baterai sebaiknya dihentikan agar tidak merusak kinerja atau umur pakai baterai. Dalam waktu 60 menit Baterai B, Baterai C dan Baterai D masih belum mencapai batas bawah tegangan yang ditetapkan, sementara Baterai A sudah mencapai batas bawah bahkan sebelum mencapai menit ke-60. Oleh karena itu, perhitungan SOC diteruskan untuk baterai yang masih dalam proses pengosongan hingga mencapai batas bawah tegangan yang telah ditetapkan. Berikut ini merupakan grafik SOC

pada proses pengosongan dari masing-masing baterai sampai mencapai batas bawah, beserta dengan tren garis lurus yang diperoleh melalui analisis regresi linear:



**Gambar 5.** Grafik SOC Keempat Baterai sampai Batas Bawah dan Hasil Regresi Linear

Grafik Baterai A menunjukkan penurunan SOC yang signifikan dalam waktu yang relatif singkat, yaitu hanya dalam waktu sekitar 48 menit baterai menjadi kosong, bahkan tidak sampai waktu yang ditetapkan 60 menit. Penurunan SOC yang tajam ini mengindikasikan bahwa baterai ini kehilangan muatan dengan cepat dan mencapai batas bawah SOC (30%) dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan baterai lain yang diukur. Penurunan SOC yang drastis seperti ini dapat mengindikasikan adanya masalah pada baterai atau kemungkinan kapasitas baterai yang rendah. Grafik Baterai B dan Baterai D menunjukkan bahwa nilai SOC mengalami penurunan secara gradual dan stabil dan memakan waktu masing-masing 137 dan 130 menit sampai baterai mencapai batas bawah. Penurunan SOC yang stabil ini menunjukkan kinerja baterai yang stabil dalam menyediakan daya dan energi selama proses pengosongan. Baterai C juga menunjukkan penurunan nilai SOC secara gradual dan stabil dibandingkan dengan Baterai A, menurun secara perlahan dari awal pengosongan hingga mencapai batas bawah SOC (30%) dalam waktu sekitar 88 menit. Dari Gambar 5 dapat dilihat juga bahwa Baterai A memiliki persamaan garis  $y = -2.2333x + 101.6165$ , yang berarti bahwa SOC baterai ini akan berkurang sebesar 2.2333 persen setiap menit. Baterai B memiliki persamaan garis  $y = -0.5141x + 99.3063$ , yang berarti bahwa SOC baterai ini akan berkurang sebesar 0.5141 persen setiap menit. Baterai C memiliki persamaan garis  $y = -0.8122x + 100.1674$ , yang berarti bahwa SOC baterai ini akan berkurang sebesar 0.8122 persen setiap menit. Baterai D memiliki persamaan garis  $y = -0.5486x + 101.6165$ , yang berarti bahwa SOC baterai ini akan berkurang sebesar 0.5486 persen setiap menit.

SOC atau *State of Charge* memiliki peran penting sebagai parameter dalam pengelolaan baterai. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya untuk memberikan informasi akurat tentang jumlah energi yang masih tersimpan dalam baterai pada waktu tertentu. Informasi SOC menjadi elemen penting dalam memonitoring baterai karena memungkinkan pengguna untuk melakukan optimasi penggunaan baterai, menghindari potensi kerusakan yang dapat timbul akibat pengosongan berlebihan, serta mempertahankan performa baterai pada tingkat optimal. Selain itu, pengetahuan mengenai SOC juga dapat membantu dalam meningkatkan umur pakai baterai dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi secara keseluruhan. Dengan kata lain, pemahaman yang komprehensif tentang SOC menjadi landasan penting

dalam manajemen baterai yang cerdas dan efisien, dengan dampak positif tidak hanya pada kinerja baterai itu sendiri tetapi juga pada efisiensi penggunaan energi secara umum.

## KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan metode *Coulomb Counting* dalam mengestimasi *State of Charge* (SOC) baterai, berdasarkan perhitungan jumlah muatan listrik yang keluar dari baterai Li-ion selama proses pengosongan. Baterai A menunjukkan penurunan SOC mencapai batas bawah dalam waktu 31 menit. Baterai B menunjukkan penurunan SOC hingga mencapai batas bawah dalam waktu 137 menit. Baterai C menunjukkan penurunan SOC hingga mencapai batas bawah dalam waktu 88 menit. Baterai D menunjukkan penurunan SOC hingga mencapai batas bawah dalam waktu 130 menit. Dari keempat baterai, hasil SOC Baterai B yang paling baik, dengan kapasitas yang lebih besar untuk menyimpan energi dalam waktu yang lebih lama dan menunjukkan performa yang lebih baik dalam mempertahankan muatan dan menjaga SOC pada tingkat yang lebih tinggi. Baterai yang baik adalah baterai yang mampu mempertahankan nilai SOC yang tinggi dalam waktu yang lama. Informasi SOC ini menjadi elemen penting dalam memonitoring baterai karena memungkinkan pengguna untuk mengoptimalkan penggunaan baterai, mencegah kerusakan akibat pengosongan berlebihan atau penggunaan baterai dalam kondisi SOC yang rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dayanti, F. 2018. Perancangan Sistem Charging dan Monitoring pada Baterai Level Tegangan 12 Volt DC Berbasis Mikrokontroler ATmega16 [skripsi]. Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Farizy, A. F. 2016. Desain Sistem Monitoring State of Charge Baterai pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic dengan Mempertimbangkan Temperature [skripsi]. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Hardiana, T. 2018. Perancangan Kontrol Charging Battery menggunakan Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) pada PV berbasis Solar Tracker Satu Poros [skripsi]. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Jumadi, Tambunan, J. M. 2015. Analisis Pengaruh Jenis Beban Listrik Terhadap Kinerja Pemutus Daya Listrik di Gedung Cyber Jakarta. *Jurnal Energi & Kelistrikan*. **7(2)**: 106-117.
- King, B. F., Panjaitan, S, D., Hartoyo, A. 2021. Sistem Kontrol Charging dan Discharging serta Monitoring Kesehatan Baterai [skripsi]. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Muskhir, M., Latif, M. R. 2021. *Rangkaian Listrik*. Fakultas Teknik Universitas Negeri, Padang.
- Rahmawan, Z. 2018. Estimasi State of Charge (SOC) pada Baterai Lead-Acid dengan menggunakan Metode Coulomb Counting pada PV Hybrid [skripsi]. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Setyono, J. S., Mardiansjah, F. H., Astuti, M. F. K. 2019. Potensi Pengembangan Energi Baru dan Energi Terbarukan di Kota Semarang. *Jurnal Riptek*, **13(2)**: 177-186.
- Sugeng, B., Saputra, R. H. 2019. Estimasi State of Charge Menggunakan Simulink pada Baterai Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jurnal ELTIKOM*, **3(1)**: 1-8.
- Sumantri, B., Abimaya, A., Tamami, N. 2018. Sistem Portable Dashboard berbasis Android untuk Mobil Listrik. *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, **14(3)**: 167-173.