

ANALISA STATE OF CHARGE (SOC) MENGGUNAKAN ALGORITMA COULOMB COUNTING DAN STATE OF HEALTH (SOH) UNTUK Mendukung KENDARAAN LISTRIK

Firman Adi Rifansyah ¹

¹ Institut Teknologi Telkom Surabaya ; firmanadi@student.ittelkom-sby.ac.id

Abstrak: Baterai adalah salah satu komponen kendaraan listrik yang sangat penting, baterai digunakan sebagai sumber arus untuk seluruh sistem kelistrikan serta sebagai tempat untuk menyimpan energi listrik pada saat terjadi proses pengisian. Aspek penting dalam baterai adalah *Battery Management System* (BMS) digunakan untuk menjaga operasi yang aman selama pengisian dan penggunaan, serta memungkinkan beberapa pengoptimalan kinerja. Sistem tersebut memiliki komponen yang memperkirakan *State Of Charge* (SOC), yaitu jumlah muatan yang masih ada dalam paket untuk mengirimkan daya aplikasi. Metode penghitungan Coulomb Counting berguna untuk menghitung SOC baterai dengan efisiensi pengisian dan pengosongan yang tinggi. Namun, pada kenyataannya kinerja baterai menurun seiring waktu dan seiring penggunaan, yang digambarkan sebagai perubahan Status Kesehatan atau *State Of Health* (SOH) baterai. Prediksi kondisi SOH yang akurat sangat penting untuk menjamin keselamatan pengoperasian dan menghindari kegagalan laten baterai. Dari permasalahan diatas maka akan dibahas tentang analisa SOC dan SOH pada baterai LiFePO₄ untuk mengoptimalkan kinerja baterai serta mendapatkan data untuk memonitor perpanjangan umur baterai dengan SOH. Dalam penelitian ini, baterai dikosongkan selama 40 siklus dan profil tegangan, kapasitas serta arus dicatat. Hasil SOH baterai pada siklus ke 40 berada di angka 94% dengan eror sebesar 0,51. Hasil ini sudah sangat bagus untuk kondisi baterai LiFePO₄.

Kata Kunci: *Battery Lithium Iron Phosphate, Battery Management System, Coulomb Counting, State Of Charge, State Of Health*

STATE OF CHARGE (SOC) ANALYSIS USING COULOMB COUNTING ALGORITHM AND STATE OF HEALTH (SOH) TO SUPPORT ELECTRIC VEHICLES

Abstract: The battery is one of the most important components of an electric vehicle, the battery is used as a current source for the entire electrical system and as a place to store electrical energy during the charging process. An important aspect of the battery is the *Battery Management System* (BMS) which is used to maintain safe operation during charging and use, and allows for some performance optimizations. The system has components that describe the *State Of Charge* (SOC), namely the amount of charge that is still in the package to transmit application power. The Coulomb Counting method is useful for calculating SOC batteries with high charge and discharge efficiency. However, in reality battery performance decreases over time and with use, which is described as a change in *Battery State Of Health* (SOH). Accurate SOH condition prediction is critical to ensure safe operation and avoid latent battery failure. From the problems above, we will discuss the analysis of SOC and SOH in LiFePO₄ batteries to optimize battery performance and obtain data to maximize additional battery life with SOH. In this study, the battery was discharged for 40 cycles and the voltage, capacity and current profiles were recorded. The results of the battery SOH in the 40th cycle were at 94% with an error of 0.51. These results are very good for the condition of LiFePO₄ batteries.

Keywords: *Battery Lithium Iron Phosphate, Battery Management System, Coulomb Counting, State Of Charge, State Of Health*

1. Pendahuluan

Baterai adalah salah satu komponen kendaraan listrik yang sangat penting, baterai digunakan sebagai sumber arus untuk seluruh sistem kelistrikan serta sebagai tempat untuk menyimpan energi listrik pada saat terjadi proses pengisian [1]. Salah satu baterai yang digunakan pada kendaraan listrik adalah baterai yang terbuat dari *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO₄), yang biasa juga disebut *Lithium Ferro Phosphate* (LFP). Baterai LiFePO₄ ini merupakan baterai yang dapat diisi secara berulang. Dua hal penting dalam penggunaan baterai yaitu siklus pengisian dan siklus pengosongan [2]. Siklus pengisian dan pengosongan yang tidak tepat dapat mengurangi umur baterai secara cepat. Komponen baterai memiliki karakteristik pengoperasian yang dapat bekerja dalam waktu yang terbatas dan pengisian energinya bekerja dengan jumlah tertentu [3]. Kondisi ini dapat menimbulkan keterbatasan pada proses penyimpanan energi disamping adanya pengaturan laju arus dan tegangan baterai. Masalah ini dapat dihindari dengan adanya Battery Management System (BMS) yang bagus dalam memantau kinerja sistem efektif dan kompeten untuk menghindari kerusakan dan kegagalan pada fungsi baterai. BMS memastikan bahwa baterai tidak akan rusak karena pengisian daya yang berlebihan, pemakaian yang berlebihan atau konsumsi daya yang berlebihan [4].

Untuk melakukan BMS, dibutuhkan informasi tentang *State Of Charge* (SOC) dan *State Of Health* (SOH) baterai. SOC didefinisikan sebagai rasio kapasitas sisa baterai saat ini dengan kapasitas baterai sebelum pengosongan, sedangkan SOH baterai adalah rasio antara kapasitas penuh terukur terhadap kapasitas nominalnya pada saat baterai masih dalam keadaan baru beroperasi [5]. Estimasi SOC dan SOH dapat dilakukan secara tidak langsung dengan menggunakan parameter-parameter yang mudah diukur, terutama tegangan dan arus pada terminal baterai. Oleh karena itu, perlunya pengawasan pada baterai untuk memperhatikan secara teliti kedua siklus tersebut. Metode untuk mengestimasi SOC dan SOH ada bermacam-macam, yang salah satunya adalah metode Coulomb Counting. Metode Coulomb Counting adalah sebuah metode yang mengukur kapasitas baterai dengan membandingkan arus yang keluar dan masuk pada baterai [6].

Dalam kasus yang ditemukan, baterai yang digunakan seringkali tidak dilengkapi dengan sistem monitoring dan sistem protection, sehingga baterai tetap beroperasi sehingga baterai mudah mengalami *over-current*, *over-voltage*, *under-voltage* dan *over-heat* [7]. Untuk menghindari hal tersebut, baterai harus digunakan secara bijak di antaranya adalah perhitungan dan analisis SOC dan SOH [8], dimana kedua parameter tersebut belum terukur baik sehingga jarak tempuh belum mudah terestimasi (baterai habis) dan kesulitan mengatur pengisian daya. Sehingga dengan adanya penelitian ini bisa memonitor dan menambah umur baterai dengan menganalisis SOC dan SOH.

2. Tinjauan Pustaka

Tabel 2.1 State of The Art

| Reff | Jurnal | Metode | Hasil |
|------|---|--------------------------------|---|
| [2] | Estimasi Kondisi Muatan Dan Kondisi Kesehatan Baterai VRLA Dengan Metode RVP | Regresi Vektor Pendukung (RVP) | Estimasi KM dan KK sangat penting dalam rangka optimalisasi penggunaan baterai, terlebih lagi ketika baterai digunakan sebagai sistem penyimpan energi cadangan pada sistem nanogrid. |
| [5] | Estimasi State Of Charge Dan State Of Health Pada Baterai Lithium ION Dengan Metode Perhitungan Coulomb | Coulomb Counting | Pada proses pengosongan nilai kapasitas maksimum 99 % dan minimum 25%. Sedangkan pada proses pengisian nilai kapasitas baterai mencapai 100% lebih. |

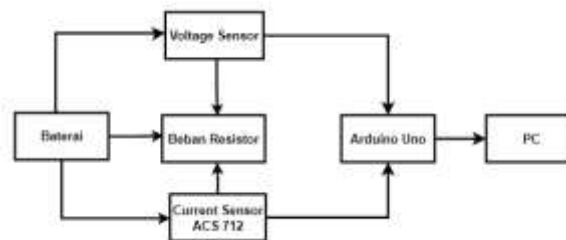
| | | | |
|------|--|------------------|---|
| [8] | Machine Learning Applied To Electrified Vehicle Battery State Of Charge And State Of Health Estimation: State-Of-The-Art | Kalman Filter | Keluaran SOC monoton profil karena tidak ada pengisian pengereman regeneratif pulsa selama siklus. |
| [10] | State of Health Estimation for Lithium-Ion Batteries | Model matematika | Model prediksi SoH saat ini didasarkan pada sejumlah besar data operasi baterai. Namun, BMS dengan penyimpanan data yang sangat terbatas. |

Dari kelima referensi tersebut masing-masing memiliki nilai keunggulan dan kebaruan dari perhitungan SOC dan SOH yang diterapkan dengan beberapa metode. Estimasi SOC dan SOH dari baterai VRLA menggunakan metode RVP dan penelitian lain menggunakan metode Kalman Filter, Model matematika, *Non-Linear Least Squares* (NLLS) serta UKF dengan grafik dan nilai yang berbeda. Cara dan sistem pengambilan data untuk SOC juga berbeda, serta SOH juga berbeda. Diambil referensi untuk hasil dan tata cara pengambilan data SOC dan SOH.

3. Metode dan Pemodelan

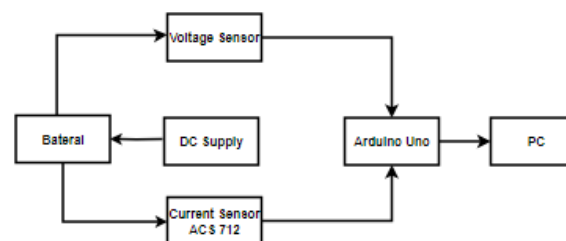
3.1. Perancangan Sistem

Pada proses pengambilan data *discharging* baterai menggunakan sensor arus (ACS712) dan sensor tegangan yang dihubungkan pada arduino dan beban sebesar 10 Ohm disusun seri 2 buah dengan total 20 Ohm dengan ditampilkan pada PC. Lalu untuk *charging* menggunakan DC *Suply* yang terhubung ke baterai. BMS berfungsi untuk menghentikan proses *discharge* ketika tegangan pada baterai berada pada kondisi kurang dari 2,5 Volt dan menghentikan menghentikan proses *charge* ketika tegangan pada baterai berada pada kondisi 3,5 Volt serta untuk menghindari kerusakan pada baterai.



Gambar Error! No text of specified style in document..1 Perancangan Sistem *Discharge*

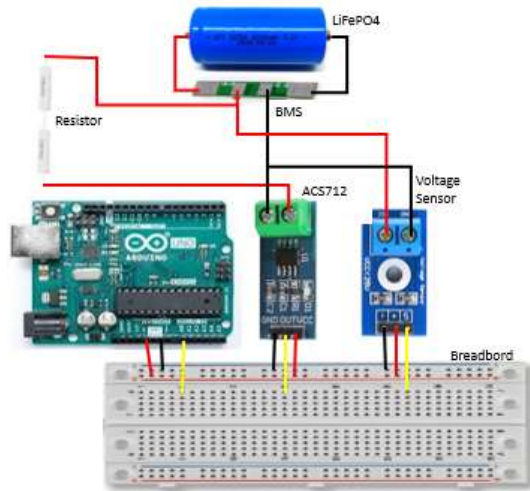
Untuk sistem *charge* beban resistor diganti dengan DC *Suply* untuk mengisi daya pada baterai.



Gambar Error! No text of specified style in document..2 Perancangan Sistem *Charge*

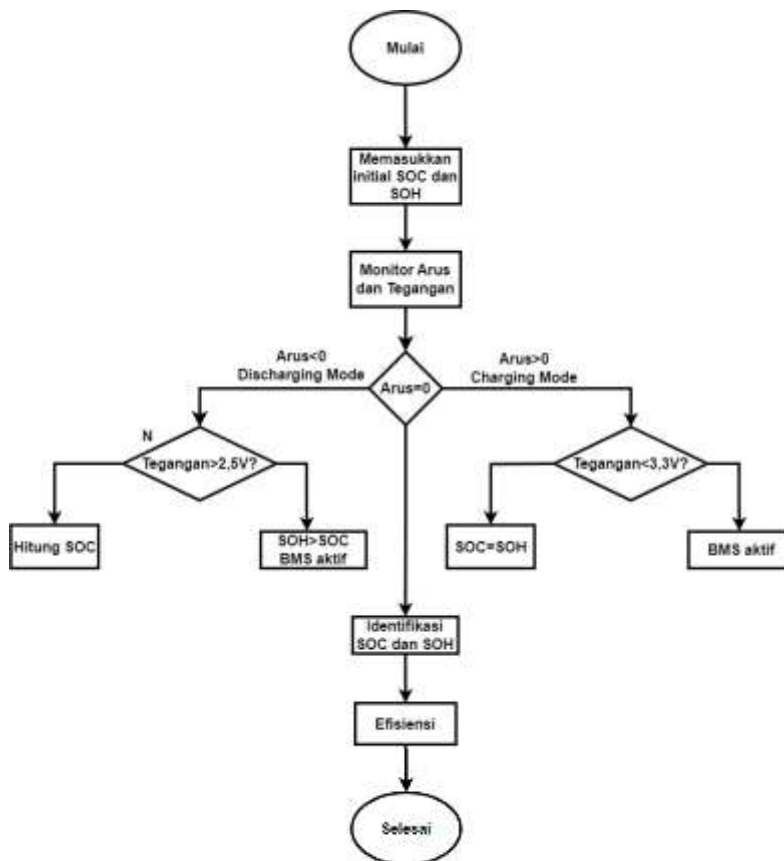
3.2. Skematik Rangkaian

Pada skematik rangkaian menggunakan 2 sensor yaitu sensor tegangan (*voltage sensor*) dan sensor arus ACS712, Baterai LiFePO4, BMS dan juga Arduino Uno. Menggunakan 2 buah beban yaitu resistor dan dihubungkan ke kutub negatif baterai serta ke N dari sensor tegangan. Sisi lain dari sensor arus dan tegangan dihubungkan ke arduino.



Gambar Error! No text of specified style in document..3 Skematik Rangkaian

3.3. Metode *Coloumb Counting*



Gambar Error! No text of specified style in document..4 Diagram Alir Coulomb Counting

Perhitungan nilai estimasi *State Of Charge* (SOC) menjadi salah satu hal penting dalam aplikasi baterai dalam renewable energy. Estimasi nilai SOC yang tepat dapat mencegah sistem mengalami gangguan dan mencegah baterai dari keadaan overcharge dan over-discharge, yang dapat membuat kerusakan permanen pada baterai. Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah metode perhitungan *Coulomb Counting*. Pada metode ini nilai estimasi pada baterai dapat dihitung dengan menghitung muatan listrik (coulomb) yang masuk atau keluar melalui baterai [9]. Arus listrik dihasilkan dari sejumlah muatan listrik yang bergerak per satuan waktu (dalam sekon).

Baterai dapat dioperasikan di salah satu dari tiga mode; charging, discharging dan sirkuit terbuka. Pada tahap *charging* baterai diisi dengan arus konstan. Dengan arus pengisian konstan, tegangan baterai meningkat secara bertahap dan mencapai ambang batas. Setelah baterai diisi oleh mode tegangan konstan, arus pengisian turun dengan cepat terlebih dahulu, lalu perlahan-lahan.

Pada Gambar 3.4 menjelaskan bahwa terdapat arus yang dikoreksi dimana merupakan fungsi dari pengosongan arus. Secara umum, metode coulomb counting dapat dihitung dengan persamaan:

$$I = \frac{dQ}{dt} \rightarrow Q = \int_{t_0}^t I dt \quad (3.1)$$

$$SOC_{(t)} = SOC_{(t_0)} - \frac{1}{Cn} \int_{t_0}^t I dt \quad (3.2)$$

Keterangan:

Q = Muatan Listrik

SOC (to) = SOC awal sebelum terjadi proses pengisian/pengosongan

Cn = Kapasitas maksimum baterai

I = Besar arus listrik yang masuk atau keluar dari baterai

Ada hubungan antara arus yang dikoreksi dan pemakaian baterai saat ini. Pemakaian baterai saat ini dengan praktik eksperimen, arus yang dikoreksi dapat dihitung dengan persamaan:

$$C_{dts} = T_{dts} \cdot I_{dts} \cdot k \quad (3.3)$$

Keterangan:

C_{dts} = Kapasitas discharge (Ah yang keluar)

T_{dts} = Lama proses pengosongan (dalam sekon)

I_{dts} = Nilai arus (dalam satuan sekon)

Pengukuran parameter tersebut dilakukan pada kondisi discharge dimana C_{dts} mewakili kapasitas pengosongan dalam ampere house (Ah), dan T_{dts}. I_{dts}. adalah arus yang dinyatakan dalam satuan ampere (A), serta k merupakan nilai konstanta yang diperoleh dari data eksperimen. Nilai konstanta juga dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$k = \log_{I_{dts}} \left(\frac{C_{dts}}{T_{dts}} \right) \quad (3.4)$$

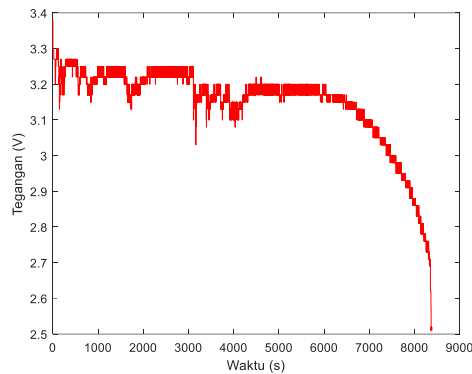
Pengukuran parameter tersebut dilakukan pada kondisi discharge dimana C_{dts} mewakili kapasitas pengosongan dalam ampere house (Ah), dan T_{dts}. I_{dts}. adalah arus yang dinyatakan dalam satuan ampere (A), serta k merupakan nilai konstanta yang diperoleh dari data eksperimen.

4. Hasil dan Analisa

4.1. Hasil Pengujian

Pengujian ini dengan baterai LiFePO₄ di lakukan pengosongan dengan resistansi sebesar 20W, selain itu di monitor untuk hasil tegangan dan arus dengan menggunakan arduino uno yang terhubung dengan PLX daq laptop.

4.1.1. Pengujian Data Tegangan Discharge

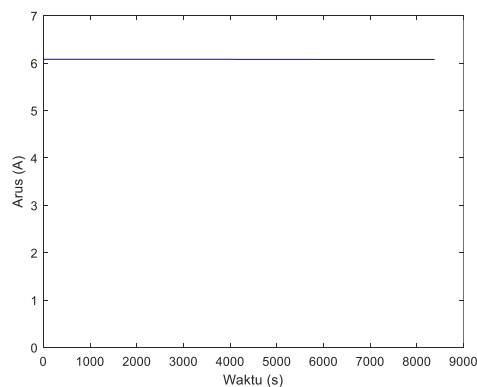


Gambar 4.1 Grafik *Discharge* Tegangan

Dari grafik *discharge* didapatkan, pada awalnya nilai tegangan baterai cenderung memiliki penurunan yang tidak terlalu signifikan, dimana nilai tegangan baterai masih dalam kisaran 3,3-3,2 V dengan hasilnya teratur hingga detik ke 3500 dan sedikit penurunan beberapa nilai tegangan. Namun ketika baterai digunakan mendekati detik ke 6.200 tegangan baterai cenderung mengalami penurunan cukup signifikan. Perbedaan grafik dapat dikarenakan proses discharge yang kurang sempurna dan kondisi baterai yang mulai berkurang kapasitasnya. Grafik hasil pengujian ini dapat dikatakan sudah sesuai dengan kurva discharge karakteristik baterai LIFEP04. Berdasarkan grafik yang sudah didapatkan, baterai perlu dioperasikan pada interval waktu tertentu untuk mendapatkan nilai tegangan yang optimal, Sehingga peralatan listrik yang disuplai oleh baterai dapat bekerja dengan baik.

4.1.2. Pengujian Data Arus Discharge

Pada pengujian ini menggunakan Baterai LiFePO₄ pengambilan data menggunakan sensor ACS712. Sensor arus ini nantinya akan membaca nilai arus baterai saat pengosongan atau discharge. Berikut ini merupakan grafik hubungan tegangan baterai dan waktu pada proses pengosongan:

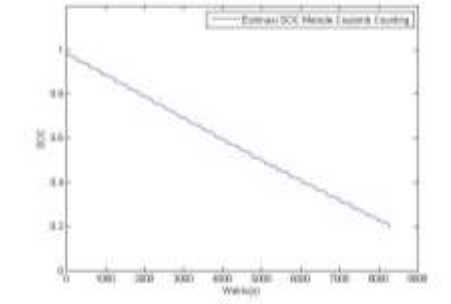


Gambar 4.2 Grafik *Discharge* Arus

Pada Gambar 4.2 merupakan pengujian sensor arus. Dari grafik 4.2 didapatkan, nilai pada awalnya nilai arus baterai cenderung memiliki penurunan yang tidak terlalu signifikan, dimana nilai arus baterai masih dalam kisaran 6A. Grafik hasil pengujian ini dapat dikatakan sudah sesuai dengan kurva *discharge* karakteristik baterai LIFePO4.

4.2. Hasil Estimasi SOC Menggunakan Algoritma Coloumb Counting

Estimasi *State Of Charge* (SOC) dimaksudkan untuk mencari padanan yang akan digunakan saat translasi dari arus ke bentuk state of charge. SOC untuk mengindikasikan level atau tingkat pengosongan daya pada baterai. Hasil monitoring dan logger data untuk SOC seperti yang ada pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.3 Grafik Estimasi SOC Menggunakan Coloumb Counting

Kurva SOC akan selalu menunjukkan penurunan dari awal hingga proses pengosongan berhenti. Walaupun terjadi perubahan nilai arus maupun tegangan SOC dalam rentang 0 sampai 1 dan mengacu pada kapasitas baterai. Kapasitas baterai pada penelitian ini mencapai 6000 mAh dalam kondisi maksimum. Hubungan antara nilai SOC terhadap waktu pada siklus pengosongan adalah berbanding terbalik. Semakin lama baterai digunakan maka semakin banyak muatan yang di gunakan, sehingga SOC baterai akan semakin berkurang.

4.3. Evaluasi Perhitungan SOC

Evaluasi perhitungan SOC ini menggunakan *Root Mean Squared Error* RMSE. RMSE juga merupakan kriteria penting dalam memilih model berperforma terbaik di antara model peramalan berbeda. Untuk melakukannya, cukup bandingkan nilai RMSE di semua model dan pilih satu dengan nilai RMSE terendah. Cara Menghitung *Root Mean Square Error* (RMSE) adalah dengan mengurangi nilai aktual dengan nilai peramalan kemudian dikuadratkan dan dijumlahkan keseluruhan hasilnya kemudian dibagi dengan banyaknya data. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya dihitung kembali untuk mencari nilai dari akar kuadrat. Secara matematis, rumusnya ditulis sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (4.1)$$

Keterangan:

RMSE = Nilai root mean square error

A_t = Nilai data Aktual

F_t = Nilai hasil peramalan

n = Banyaknya data

Dalam hal ini mengambil data Arus sebagai nilai yang akan di analisis, menggunakan rumus 4.1. Dimana diketahui secara akurat bahwa nilai beban (resistor) sebesar 20 Watt serta menggunakan nilai dari hasil pembacaan sensor tegangan untuk mendapatkan nilai arus untuk data aktual. Untuk data peramalan menggunakan hasil pembacaan sensor arus.

$$R = \frac{V}{I} \tag{4.2}$$

Keterangan:

R = Hambatan (ohm)

V = Tegangan (V)

I = Arus (I)

Tabel 4.1 Data RMSE

| Period | Actual | Forecast | Error | Square of Error |
|--------|--------|----------|--------|-----------------|
| t | At | Ft | At -Ft | (At -Ft)^2 |
| 1 | 6,18 | 6,06 | 0,1 | 0,01 |
| 2 | 6,18 | 6,12 | 0,1 | 0,00 |
| 3 | 6,14 | 6,21 | -0,1 | 0,00 |
| 4 | 6,18 | 6,35 | -0,2 | 0,03 |
| 5 | 6,16 | 6,45 | -0,3 | 0,08 |
| 6 | 6,18 | 6,56 | -0,4 | 0,14 |
| 7 | 6,16 | 6,71 | -0,6 | 0,30 |
| 8 | 6,18 | 6,85 | -0,7 | 0,45 |
| 9 | 6,18 | 6,92 | -0,7 | 0,55 |
| 10 | 6,09 | 7,12 | -1,0 | 1,06 |
| | | | Totals | 2,64 |
| | | | n | 10 |
| | | | RMSE | 0,51 |

Perhitungan nilai RMSE sesuai dengan rumus 4.2, sehingga hasil akhir perhitungan didapatkan nilai sebesar 0,51. Sesuai dengan penelitian sebelumnya [10], yang berarti hasil peramalan analisis trendline yang menghasilkan nilai di atas bisa digunakan.

4.2. Hasil SOH

$$SOH = \frac{C_i}{C_0} \times 100\% \tag{4.3}$$

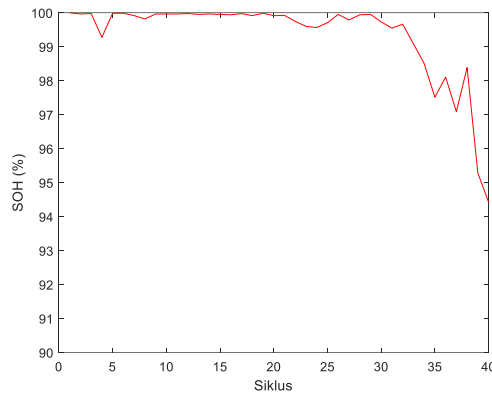
Keterangan :

SoH = Keadaan Kesehatan (%)

C_i = Kapasitas dalam baterai pada pengukuran kedua (Ah)

C₀ = Kapasitas dalam baterai pada pengukuran pertama (Ah)

SOH pada sebuah baterai adalah suatu parameter penting dalam pemakaian baterai karena layak atau tidaknya baterai untuk tetap digunakan mengacu pada nilai tersebut. Nilai SOH akan menurun seiring dengan bertambahnya siklus pengujian, karena SOH sangat berkaitan dengan umur baterai. Oleh karena itu SOH memplot pada grafik menghasilkan kurva menurun. SOH dengan nilai sangat berguna untuk harapan hidup baterai dan membantu memutuskan kapan harus mengganti baterai karena minimum persyaratan tidak tercapai. Dengan konsistensi diatas tersebut sudah sangat baik untuk di uji coba. Hasil dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini:



Gambar 4.4 Grafik SOH

Pada pengujian baterai LiFePO4 dapat dilihat pengujian dilakukan sebanyak 40 siklus, dimana nilai SOH dimulai dari 100% dan berakhir di 94%. Hasil dari siklus ke pertama sampai dua puluh mengalami grafik yang linier/lurus. Hal ini cukup bagus untuk kondisi baterai sesuai penelitian [11]. SOH ini dipengaruhi oleh siklus baterai, dimana semakin banyak siklus maka SOH akan menurun. Hal ini disebabkan oleh siklus baterai yang akan mempengaruhi kinerja baterai.

4.2. Efisiensi Baterai

Efisiensi suatu baterai didefinisikan sebagai persentase ratio atau perbandingan dari kapasitas pengosongan terhadap kapasitas pengisian. Dengan adanya grafik perhitungan koefisien korelasi dapat diketahui bahwa efisiensi yang paling standart.

Efisiensi Baterai (η)

$$\eta = \frac{W_{out} - W_{in} - W_{lc} - W_{ld}}{W_{in}} \quad (4.4)$$

Keterangan:

Input = W_{in}

Output = $W_{out} = W_{in} - W_{lc} - W_{ld}$

$$W = VxQ \quad (4.5)$$

Keterangan :

W = Energi Listrik (J)

V = Tegangan (V)

Q = Muatan listrik (C)

Nilai muatan dan tegangan saat *input* dan *output* berbeda. Nilai muatan didapat dari spesifikasi baterai yang tertera dan nilai tegangan didapat dari pembacaan sensor baterai. Data ini diambil pada siklus ke 40 dengan nilai efisiensi baterai sebesar 94% dengan perhitungan rumus 4.5. Efisiensi ini sangat baik karena masih diatas 90% (nilai kondisi baru). Menggunakan baterai dengan kapasitas 3,2 V dengan beban 20 W.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{20W}{3,2V} = 6,25A \quad (4.6)$$

Tahap awal mencari nilai Arus dengan membagi nilai Daya pada beban terhadap Tegangan, dengan hasil 6,25A. Setelah itu mencari lama waktu pemakaian, dengan rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Lama pemakaian} &= \frac{C_{Baterai}}{I_{Beban}} \times 90\% (\text{faktor efisien}) \\ \text{Lama pemakaian} &= \frac{6Ah}{6,25A} \times 0,9 = 8,64 \text{ Jam} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Didapatkan hasil yaitu lama waktu *discharge* yaitu 8,64 jam, sedangkan real nya penggunaan 8,4 jam.

5. Kesimpulan

1. SOC pada baterai LiFePO₄ didapatkan dari hasil pengukuran perhitungan, sehingga diperoleh nilai SOC terhadap waktu. Pada baterai LiFePO₄ dengan SOC baterai bertahan selama 10 jam, dengan kapasitas yang tertera pada baterai yaitu 6 Ah.
2. Proses Charge dan Discharge bisa berjalan dengan baik dengan implementasi BMS untuk menjaga baterai tetap pada kondisi normal dan juga optimal. Hal yang mempengaruhi kesehatan baterai seperti usia baterai yang sudah tua, voltase melebihi minimum dan maksimum yang ditetapkan, serta penggunaan baterai yang sembarangan
3. Hasil perhitungan lama waktu discharge yaitu 8,64 jam, sedangkan real nya penggunaan 8,4 jam dengan hasil SOH diatas 94% dengan 40 siklus.
4. Pengaruh SOC menggunakan Coulomb Counting terdapat pada proses dimana menggunakan integral muatan dari arus yang idapatkan dari percobaan. Hailnya yaitu SOC dapat di estimasi dengan hasil cukup baik.
5. Hubungan SOH dengan siklus hidup baterai yaitu semakin lama atau banyak siklus baterai maka persen SOH akan menurun. Nilai SOH berbanding lurus dengan efisiensi baterai.

Referensi

- [1] IEEE Power and Energy Society, IEEE Guide for the Characterization and Evaluation of Lithium-Based Batteries in Stationary Applications. 2018.
- [2] D. Widjajanto, Beny Maulana Achsan, Fajar Muhammad Noor Rozaqi, Augie Widyotriatmo, and Edi Leksono, "Estimasi Kondisi Muatan dan Kondisi Kesehatan Baterai VRLA dengan Metode RVP," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 10, no. 2, pp. 178–187, 2021, doi: 10.22146/jnteti.v10i2.1299.
- [3] S. Tri, I. Isdawimah, and I. Kamil, "Implementasi Penggunaan Super Kapasitor Pada Sistem PLTS Off-grid Sebagai Penstabil Baterai," *Electrices*, vol. 4, no. 1, pp. 7–11, 2022, doi: 10.32722/ees.v4i1.4420.
- [4] S. Scott, and R. Ireland, "Working Paper ID-068 Office of Industries Lithium-Ion Battery Materials for Electric Vehicles and their Global Value Chains. International Trade Commission Lithium-Ion Battery Materials for Electric Vehicles and their Global Value Chains," no. June, 2020.
- [5] N. A. Maulidina, R. E. Saputra, and ..., "Estimasi State Of Charge Dan State Of Health Pada Baterai Lithium ION Dengan Metode Perhitungan Coulomb," *eProceedings ...*, vol. 8, no. 6, pp. 11985–11992, 2021, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/16966%0Ahttps://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/download/16966/17202>.
- [6] S. Zhang, X. Guo, X. Dou, and X. Zhang, "A rapid online calculation method for state of health of lithium-ion battery based on coulomb counting method and differential voltage analysis," *J. Power Sources*, vol. 479, no. April, 2020, doi: 10.1016/j.jpowsour.2020.228740.
- [7] P. Ningrum, N. A. Windarko, and S. Suhariningsih, "Battery Management System (BMS) Dengan State Of Charge (SOC) Metode Modified Coulomb Counting," *INOVTEK - Seri Elektro*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2019, doi: 10.35314/ise.v1i1.1022.
- [8] C. Vidal, P. Malysz, P. Kollmeyer, and A. Emadi, "Machine Learning Applied to Electrified Vehicle Battery State of Charge and State of Health Estimation: State-of-the-Art," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 52796–52814, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2980961.
- [9] M. I. Dwi Prasetyo, A. Tjahjono, and N. A. Windarko, "Feed Forward Neural Network Sebagai Algoritma Estimasi State of Charge Baterai Lithium Polymer," *Klik - Kumpul. J. Ilmu Komput.*, vol. 7, no. 1, p. 13, 2020, doi: 10.20527/klik.v7i1.290.
- [10] X. R. Kong, A. Bonakdarpour, B. T. Wetton, D. P. Wilkinson, and B. Gopaluni, "State of Health Estimation for Lithium-Ion Batteries," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 18, pp. 667–671, 2018, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.09.347.
- [11] C. Vidal, P. Malysz, P. Kollmeyer, and A. Emadi, "Machine Learning Applied to Electrified Vehicle Battery State of Charge and State of Health Estimation: State-of-the-Art," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 52796–52814, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2980961.

