

Studi Optimasi Pengaruh Sisa Kapasitas dan Arus Pengisian Terhadap Keandalan Individu Baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH

Devyna Lufhf¹, Bagus Wahyudi^{2*}

^{1,2} Politeknik Negeri Malang

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh sisa kapasitas dan arus pengisian terhadap umur siklus baterai LiFePO₄ 3,2 V 6 Ah. Pengujian pertama, yaitu pengujian sisa kapasitas. Dilakukan dengan mengisi baterai menggunakan arus 3 A dan mengosongkan baterai hingga tiga tingkat sisa kapasitas 0%, 10%, dan 20%. Proses pengisian dan pengosongan dilakukan secara terus menerus untuk menentukan jumlah siklus baterai. Hasil pengujian pertama menunjukkan bahwa sisa kapasitas dan arus pengisian berpengaruh pada keandalan individu baterai LiFePO₄ 3,2 V 6 Ah. Melalui studi keandalan ini, diperoleh kondisi terbaik hasil pengujian siklus baterai LiFePO₄ 3,2 V 6 Ah pada saat pengujian dengan variasi sisa kapasitas 20%. Pengujian kedua, yaitu pengujian sisa kapasitas dan arus pengisian. Variasi sisa kapasitas yang diuji adalah 0%, 10%, dan 20%, sedangkan arus pengisian yang digunakan adalah 3 A, 4 A, dan 5 A. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sisa kapasitas memiliki pengaruh terhadap siklus baterai LiFePO₄ 3,2 V 6 Ah. Untuk mendapatkan siklus maksimum $y = 820$, diperlukan arus pengisian sebesar 3,1 A dan sisa kapasitas sebesar 24,1%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa untuk memaksimalkan umur siklus baterai LiFePO₄ 3,2 V 6 Ah, disarankan menghindari pengosongan penuh hingga 0%.

Kata Kunci: LiFePO₄, Sisa Kapasitas, Arus Pengisian, Keandalan, Optimasi

DOI: <https://doi.org/10.47134/jme.v1i3.2757>

*Correspondence: Bagus

Wahyudi

Email:

bagus.wahyudi@polinema.ac.id

Received: 12-05-2024

Accepted: 19-06-2024

Published: 23-07-2024



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: This research aims to analyze the effect of remaining capacity and charging current on the cycle life of a LiFePO₄ 3.2 V 6 Ah battery. The first test is residual capacity test. Carried out by charging the battery using a current of 3 A and discharging the battery to three different levels of remaining capacity (0%, 10%, and 20%). The charging and discharging process is carried out continuously to determine the number of battery cycles. The first test results show that the remaining capacity and charging current have an effect on the individual reliability of the LiFePO₄ 3.2 V 6 Ah battery. Through this reliability study, the best conditions were obtained for the test results for the 3.2 V 6 Ah LiFePO₄ battery cycle during testing with a remaining capacity variation of 20%. The second test is testing the remaining capacity and charging current. The remaining capacity (0%, 10%, and 20%), while the charging current used was 3 A, 4 A, and 5 A. The research results show that the remaining capacity has a significant influence on the LiFePO₄ 3.2 V 6 Ah battery cycles. Charging current does not have a significant effect on the cycles of a LiFePO₄ 3.2 V 6 Ah battery. To get the maximum cycle $y = 820$, a charging current of 3.1 A is required and the residual capacity is 24.1%. This research concludes that to maximize the cycle life of a LiFePO₄ 3.2 V 6 Ah battery, it is recommended to avoid full discharge to 0% and choose a discharge strategy that leaves 20% capacity.

Keywords: LiFePO₄, Residual Capacity, Charging Current, Reliability, Optimization

Pendahuluan

Baterai merupakan perangkat yang digunakan untuk menyimpan energi dalam bentuk kimia dan mengubahnya menjadi energi listrik. Pengisian daya pada baterai dilaksanakan dengan cara mengalirkan arus terus menerus secara kontinu sampai voltase pada baterai mencapai nilai yang sesuai dengan spesifikasi baterai (Pradhana & Andromeda, 2022). Baterai LiFePO₄ (Lithium Iron Phosphate) adalah jenis baterai lithium-ion yang menggunakan senyawa *lithium iron phosphate* sebagai katoda. Baterai ini telah menjadi salah satu komponen kunci dalam sistem penyimpanan energi. Beberapa keunggulannya yaitu *thermal* dan *chemical stability* yang tinggi, memiliki performa elektrokimia yang stabil pada saat kondisi terisi penuh (Permatasari et al., 2017), ramah lingkungan, menggunakan material tidak beracun, dan *life cycle* yang tinggi (Satriady et al., 2016) (Abera et al., 2014). Baterai LiFePO₄ diterapkan dalam berbagai aplikasi, diantaranya dapat digunakan dalam aplikasi berdaya besar, contohnya kendaraan listrik (Subhan & Prihandoko, 2017), sistem penyimpanan energi rumah tangga, dan perangkat portabel.

Studi keandalan merupakan sebuah proses untuk mengevaluasi sejauh mana suatu produk atau komponen mampu beroperasi sesuai dengan harapan selama periode waktu dan kondisi tertentu (Fatoni, 2017). Rumus keandalan distribusi eksponensial adalah sebagai berikut (Hakim, 2021):

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

R = keandalan (%)

λ = laju kerusakan

t = waktu (siklus)

Baterai yang tidak andal dapat menyebabkan umur pakai yang singkat, kinerja buruk, bahkan dapat menyebabkan kejadian berbahaya seperti kebakaran atau ledakan. Keandalan baterai LiFePO₄ menjadi perhatian utama karena berbagai faktor, beberapa diantaranya ialah sisa kapasitas dan arus pengisian, yang dapat berpengaruh pada kinerja dan umur pakai baterai. Kapasitas suatu baterai menyatakan kemampuan baterai untuk mengalirkan arus listrik (ampere) kepada suatu rangkaian beban selama periode waktu tertentu (jam) (Ricky Agned, 2016).

Sisa kapasitas, yang merujuk pada seberapa banyak kapasitas baterai yang tersisa setelah penggunaan atau siklus pengisian dan pengosongan, merupakan parameter penting dalam menilai keandalan baterai. Arus pengisian, yang mengacu pada tingkat arus yang diberikan ke baterai selama proses pengisian, juga memiliki dampak signifikan terhadap kinerja dan umur pakai baterai. Kecepatan pengisian terkait erat dengan arus pengisian, yang diukur dalam ampere (A). Kecepatan pengisian (dalam ampere per jam atau AH) tergantung pada seberapa besar arus yang diberikan ke baterai saat pengisian. Semakin besar arus, semakin banyak daya yang masuk ke dalam baterai dalam waktu yang sama, sehingga proses pengisian akan lebih cepat. Kecepatan pengisian baterai juga akan

dipengaruhi oleh kapasitas baterai. Semakin besar kapasitas baterai, semakin banyak energi yang perlu disalurkan ke dalamnya, dan hal ini memerlukan arus yang lebih besar atau waktu yang lebih lama untuk mengisi baterai sepenuhnya (Zidni, 2020).

Arus pengisian baterai adalah jumlah aliran listrik yang diterapkan ke baterai selama proses pengisian. Arus pengisian ini dinyatakan dalam satuan ampere (A). (Kurniawan, 2019) Tingkat aliran arus yang diterapkan ke baterai untuk mengisi daya. Pengaturan arus pengisian yang tepat menghindari *overcharging* dan *overheating*, yang dapat merusak struktur kimia baterai dan mengurangi umur siklusnya (Nuamkoksung et al., 2020). Pengendalian arus pengisian memainkan peran kunci dalam menjaga kesehatan baterai, memastikan efisiensi energi, dan meminimalkan risiko kegagalan termal. (Shen et al., 2011) Arus pengisian harus disesuaikan berdasarkan kapasitas baterai dan kondisi operasional untuk mencegah kerusakan internal dan memperpanjang umur siklus (Changhe Cao, Xiangyun Yuan, Yuping Wu, 2015). Rumus arus pengisian menurut Chen et al, adalah (Chen et al., 2021):

$$I_{charge} = \frac{dQ}{dt}$$

Dimana:

I_{charge} = Arus pengisian (dalam ampere, A)

dQ = Perubahan kapasitas (dalam ampere-jam, Ah)

dt = Perubahan waktu (dalam jam, h)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sisa kapasitas dan arus penelitian terhadap tingkat keandalan baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH, pengaruh sisa kapasitas terhadap umur baterai, pengaruh arus terhadap umur baterai, dan mengetahui nilai optimum sisa kapasitas baterai dan arus pengisian yang memiliki nilai keandalan tinggi. Dengan memahami cara kapasitas sisa dan arus pengisian mempengaruhi kinerja baterai, kita dapat mengembangkan teknik pengisian yang lebih efisien. Hal ini akan membantu mengurangi kerugian energi selama proses pengisian dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Penelitian ini juga dapat memiliki dampak positif pada lingkungan. Dengan meningkatkan efisiensi dan umur pakai baterai, dapat mengurangi jumlah baterai yang dibuang dan limbah elektronik secara keseluruhan.

Metode

Methods should be described with sufficient details to allow others to replicate and build on the published results. Please note that the publication of your manuscript implies that you must make all materials, data, computer code, and protocols associated with the publication available to readers. Please disclose at the submission stage any restrictions on the availability of materials or information. New methods and protocols should be described in detail while well-established methods can be briefly described and appropriately cited.

Penelitian ini dengan didasari dari latar belakang yang dituliskan pada pendahuluan maka, penelitian dimulai dengan mencari studi literatur mengenai optimasi, keandalan, baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH, sisa kapasitas, dan arus pengisian. Dari informasi tersebut, diperoleh spesifikasi alat dan bahan, metode pengujian, serta cara pengambilan data untuk menentukan nilai keandalan. Dari rangkaian persiapan – pengujian – pengambilan data, maka setelah itu dilakukan proses analisis untuk mencapai kesimpulan yang dapat menjawab rumusan masalah. Pendekatan penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimental. Pada penelitian mengenai simulasi keandalan baterai LiFePO₄ ini digunakan metode pengujian *accelerated life testing* (ALT). Pengambilan data dilakukan melalui dua tahap yaitu tahap pengambilan data *lifetime* dari 43 sampel baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH. Data umur baterai LiFePO₄ tersebut kemudian diolah melalui distribusi Weibull dengan menggunakan software Minitab 19. Berdasarkan distribusi Weibull tersebut akan diketahui nilai keandalan dari baterai LiFePO₄. Untuk mengetahui nilai optimum sisa kapasitas baterai dan arus pengisian yang memiliki keandalan tinggi dengan menggunakan RSM atau *Response Surface Methodology* dengan tipe *Central Composite Design* (CCD).

Metode untuk pengambilan data dan setting peralatan penelitian mengikuti langkah-langkah seperti berikut:

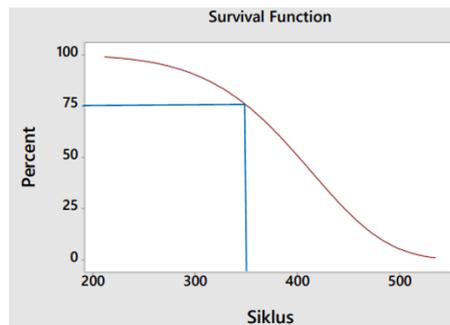
1. Mempersiapkan baterai LiFePO₄ 3,2 V 6 AH sebanyak 43 buah dalam kondisi awal yang sama sebelum dimulainya penelitian.
2. Beban yang digunakan ialah lampu bohlam halogen 100 watt.
3. Pengujian sisa kapasitas baterai dan arus pengisian dilakukan secara terpisah.
4. Pada pengujian eksperimen pertama, menetapkan variasi sisa kapasitas baterai (0%, 10%, 20%) setelah penggunaan dengan bantuan alat yaitu kapasitas baterai meter, arus terkontrol pada 3A.
5. Pada eksperimen kedua, menetapkan variasi sisa kapasitas baterai (0%, 10%, 20%) dan memberi variasi pada arus pengisian dengan memvariasikan arus sebesar 3A, 4A, dan 5A.
6. Melakukan *charge – discharge* pada baterai. Siklus ini dilakukan sampai baterai mengalami kerusakan.
7. Melakukan pencatatan hasil pengujian.
8. Memasukkan hasil pengujian ke *software* Minitab 19.
9. Untuk pengolahan data pengujian pertama, memilih *Stat > Reliability/ Survival > Distribution Analysis (Right Censoring) > Distribution Overview Plot*.
10. Untuk pengolahan data dan pengujian kedua, menggunakan RSM atau *Response Surface Methodology* dengan tipe *Central Composite Design* (CCD). Dengan memilih *DOE > Response Surface > Analyze Response Surface*
11. Membuat kesimpulan berdasarkan analisis data yang diperoleh.

Hasil dan Pembahasan

In the Results section, summarize the collected data and the analysis performed on those data relevant to the issue that is to follow. The Results should be clear and concise. It should be written objectively and factually, and without expressing personal opinion. It

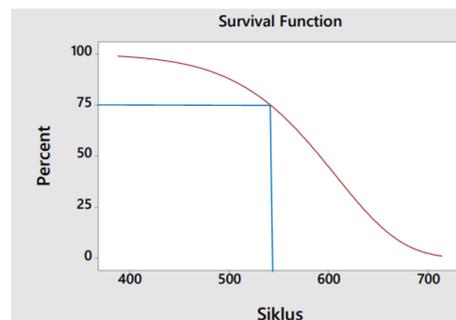
includes numbers, tables, and figures (e.g., charts and graphs). Number tables and figures consecutively in accordance with their appearance in the text.

Pengujian pertama dengan menetapkan variasi sisa kapasitas baterai (0%, 10%, 20%) dan arus terkontrol pada 3A.



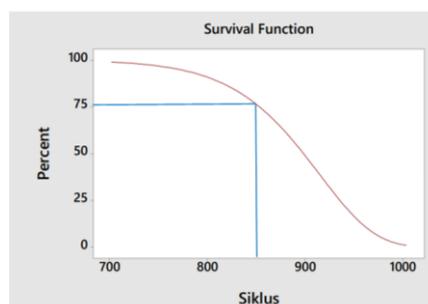
Gambar 1. Hasil Pengolahan Data Variasi Sisa Kapasitas 0%

Dari Gambar 1, didapatkan bahwa pada saat keandalan 75% hasil perolehan data dari baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH sebanyak 350 siklus.



Gambar 2. Hasil Pengolahan Data Variasi Sisa Kapasitas 10%

Dari Gambar 2, didapatkan bahwa pada saat keandalan 75% hasil perolehan data dari baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH sebanyak 550 siklus.



Gambar 3. Hasil Pengolahan Data Variasi Sisa Kapasitas 20%

Dari gambar 3, didapatkan hasil bahwa didapatkan bahwa pada saat keandalan 75% hasil perolehan data dari baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH sebanyak 850 siklus.

Pengujian kedua dengan menetapkan variasi sisa kapasitas baterai (0%, 10%, 20%) dan arus pengisian 3A, 4A, dan 5A. Hipotesa awal (H_0) menyatakan: tidak ada pengaruh sisa kapasitas terhadap siklus baterai.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	346609	69322	8,31	0,007
Linear	2	322267	161134	19,33	0,001
charging current	1	15317	15317	1,84	0,217
residual capacity	1	306950	306950	36,81	0,001
Square	2	23741	11871	1,42	0,303
charging current*charging current	1	1831	1831	0,22	0,654
residual capacity*residual capacity	1	19930	19930	2,39	0,166
2-Way Interaction	1	600	600	0,07	0,796
charging current*residual capacity	1	600	600	0,07	0,796
Error	7	58365	8338		
Lack-of-Fit	3	53044	17681	13,29	0,015
Pure Error	4	5321	1330		
Total	12	404974			

Gambar 4. *Analysis of Variance*

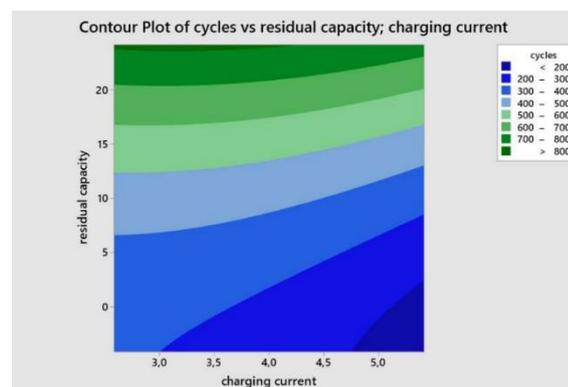
P value sisa kapasitas di tabel anova adalah 0,001 lebih kecil dari 0,05. Hal ini membuktikan bahwa P value $< 0,05$ adalah menolak H_0 , artinya sisa kapasitas berpengaruh signifikan terhadap siklus baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH. Sedangkan P value arus pengisian di tabel anova adalah 0,217 lebih besar dari 0,05. Hal ini membuktikan bahwa P value $> 0,05$ adalah menerima H_0 , artinya arus pengisian tidak berpengaruh signifikan terhadap siklus baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH.

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
91,3118	85,59%	75,29%	4,80%

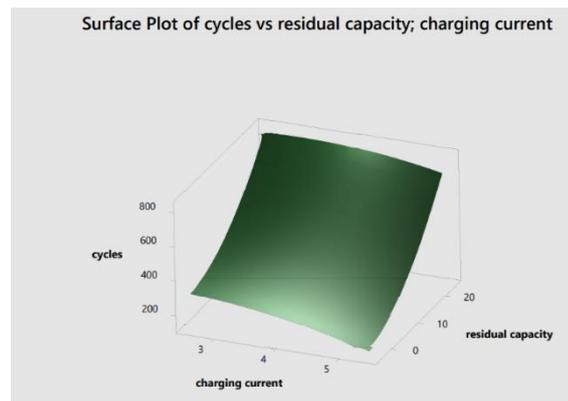
Gambar 5. *Model Summary*

Nilai koefisien determinasi pada Gambar 5 sebesar 85,59%, nilai presentase koefisien determinasinya semakin mendekati 100% maka dapat disimpulkan bahwa variabel bebas yaitu arus pengisian dan sisa kapasitas sudah sesuai.



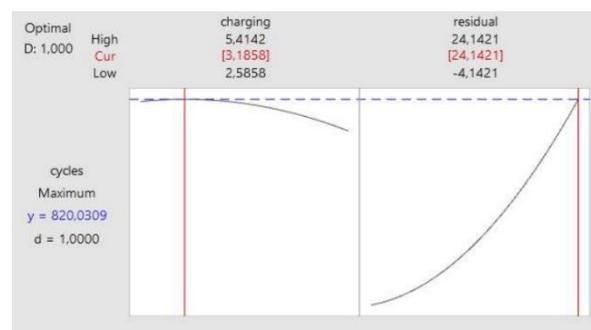
Gambar 6. *Contour Plot* dari Siklus vs Sisa Kapasitas; Arus Pengisian

Berdasarkan pada Gambar 6, terdapat 8 warna skala yang berbeda. Warna hijau tua menunjukkan daerah optimum (maksimum) siklus baterai hasil kombinasi sisa kapasitas (diatas 20%) dan arus pengisian (2,5 A – 5,5 A). Warna biru tua menunjukkan daerah minimum dari siklus baterai LiFePO4 3,V 6AH.



Gambar 7. *Surface Plot*

Pada Gambar 7, terdapat 3 sumbu yaitu sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. sumbu X yakni menunjukkan *charging current*/ arus pengisian dalam satuan (A), lalu sumbu Y menampilkan level *residual capacity*/sisa kapasitas (%), sedangkan sumbu Z yang tegak adalah menunjukan skala siklus baterai. Sumbu ketiganya X, Y, Z tersebut saling berhubungan sehingga bisa mengilustrasikan bentuk interaksi yang merupakan hasil proyeksi dari *contour plot* dua dimensi menjadi tiga dimensi sebuah permukaan pengaruh dari sisa kapasitas dan arus pengisian terhadap siklus baterai LiFePO4 3,2V 6AH.



Gambar 8. *Response Optimization*

Response Optimization dapat mengidentifikasi kombinasi variabel yang secara bersama-sama mengoptimalkan satu respons. Untuk mendapatkan siklus maksimum $y = 820$, diperlukan arus pengisian sebesar 3,1 A dan sisa kapasitas sebesar 24,1%.

Hasil pengolahan data pengujian pertama yakni dengan keandalan 75%, variasi sisa kapasitas 0% mencapai 350 siklus, sisa kapasitas 10% mencapai 550 siklus, dan sisa kapasitas 20% mencapai 850 siklus. Melalui studi keandalan ini, diperoleh kondisi terbaik hasil pengujian siklus baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH pada saat pengujian dengan variasi sisa kapasitas 20%. Kombinasi antara variasi sisa kapasitas 20% dan arus pengisian 3A adalah kondisi yang lebih optimal untuk baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH.

Gambar 6 merupakan bentuk *contour plot* hasil analisis pengaruh sisa kapasitas dan arus pengisian terhadap siklus baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH. Grafik 2D *contour plot* diperoleh dari hubungan nilai variabel respon dengan faktor variabel bebas yang digunakan, artinya pada sumbu X horizontal variabel bebas menampilkan nilai skala arus pengisian yang digunakan dari 3A sampai 5A, kemudian sumbu Y vertikal merupakan variabel bebas sisa kapasitas yakni 0% sampai 20%. Terlihat selisih tiap arus pengisian pada grafik sebesar 0,5 dan pada sisa kapasitas sebesar 5. Pada Gambar 6 terdapat 8 warna skala yang berbeda. Warna hijau tua menunjukkan daerah optimum (maksimum) siklus baterai hasil kombinasi sisa kapasitas (diatas 20%) dan arus pengisian (2,5 A – 5,5 A). Warna biru tua menunjukkan daerah minimum dari siklus baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH.

Pada Gambar 7, *Surface Plot* merupakan grafik dari hasil analisis pengaruh sisa kapasitas dan arus pengisian terhadap siklus baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH. Untuk membaca grafik tersebut terdapat 3 sumbu yaitu sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. sumbu X yakni menunjukkan *angka charging current*/ arus pengisian dalam satuan (A), lalu sumbu Y menampilkan level *residual capacity*/sisa kapasitas (%), sedangkan sumbu Z yang tegak adalah menunjukan skala siklus baterai.

Response Optimization adalah proses untuk mencari nilai optimal dari satu atau lebih variabel bebas yang akan memberikan nilai maksimum atau minimum dari variabel terikat berdasarkan model matematis atau statistik yang telah dibuat. *Response Optimization* dapat mengidentifikasi kombinasi variabel yang secara bersama-sama mengoptimalkan satu respons. Hasil optimasi untuk mendapatkan keandalan terbaik dalam bentuk siklus maksimum yaitu $y = 820$, memerlukan arus pengisian sebesar 3,1 A dan sisa kapasitas sebesar 24,1%.

Kesimpulan

Sisa kapasitas dan arus pengisian berpengaruh pada keandalan individu baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH. Dari grafik ditampilkan bahwa hasil pengolahan data dari 3 gambar yakni dengan keandalan 75%, variasi sisa kapasitas 0% mencapai 350 siklus, sisa kapasitas 10% mencapai 550 siklus, dan sisa kapasitas 20% mencapai 850 siklus. Melalui studi keandalan ini, diperoleh kondisi terbaik hasil pengujian siklus baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH pada saat pengujian dengan variasi sisa kapasitas 20%. Sisa kapasitas memiliki pengaruh signifikan terhadap siklus baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH. P value Sisa kapasitas di tabel anova adalah 0,001 lebih kecil dari 0,05. Hal ini membuktikan bahwa P value < 0,05 adalah menolak H₀, yaitu sisa kapasitas berpengaruh signifikan terhadap siklus baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH. Semakin tinggi sisa kapasitas, semakin panjang siklus hidup baterai.

Mengosongkan baterai hingga kapasitas rendah secara berulang kali mempercepat degradasi dan memperpendek umur baterai, sementara menghindari pengosongan penuh dan mempertahankan sisa kapasitas yang lebih tinggi memperpanjang umur dan keandalan baterai. Arus pengisian tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap siklus baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH. P value arus pengisian di tabel anova adalah 0,217 lebih besar dari 0,05. Hal ini membuktikan bahwa P value > 0,05 adalah menerima H₀, yaitu arus pengisian tidak berpengaruh signifikan terhadap siklus baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH. Hal ini terjadi karena jenis baterai LiFePo₄ tergolong aman dan memiliki resistansi internal yang rendah. Nilai optimum sisa kapasitas baterai dan arus pengisian yang memiliki keandalan tinggi dengan siklus maksimum $y = 820$, diperlukan arus pengisian sebesar 3,1 A dan sisa kapasitas sebesar 24,1%.

Referensi

- Abera, T. A., Bekele, G., Walter, T., & Adelman, P. (2014). *A Study of Capacity Fade and Life-Cycle Estimation of LiFePo₄ Battery Based On Two*. 13532–13537.
- Abimanyu, Ahmad Gaffar, I., & Pranoto, S. (2021). Analisis Baterai Dalam Mempertahankan Keandalan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Punagaya 2X100 Mw. *Teknik Elektro, September*, 185–191.
- Changhe Cao, Xiangyun Yuan, Yuping Wu, T. van R. (2015). *Electrochemical Performance of Lithium-Ion Batteries*. 507–524.
- Chen, C., Wei, Z., Member, S., Knoll, A. C., & Member, S. (2021). *Charging Optimization for Li-ion Battery in Electric*. 7782(c), 1–23. <https://doi.org/10.1109/TTE.2021.3135525>
- Fatoni, A. (2017). Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV PT.PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis). *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 462–467. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.16150>
- Hakim, L. (2021). *Implementasi RCM pada mesin diesel Deutz 20 kVA*. 10(1), 42–52.
- Kurriawan. (2019). *Pengaruh Variasi Arus Pengisian Pengosongan Muatan pada Model Baterai Lead Acid Terhadap Perubahan Efisiensi Energi*. 16, 1–6.
- Nuamkoksung, P., Buayai, K., Kongjeen, Y., & Bhumkittipich, K. (2020). *Impact of Fast Charging on Lithium-ion Battery in Electric Vehicle Application*. 7–10. <https://doi.org/10.1109/iEECON48109.2020.244120>
- Permatasari, E. P., Rindi, M. P., & Purwanto, A. (2017). Pembuatan Katoda Baterai Lithium Ion Iron Phospate (LiFePO₄) dengan Metode Solid State Reaction. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 1(1), 27. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v1i1.40373>
- Pradhana, M. A., & Andromeda, T. (2022). *Pengisi Daya Baterai LiFePO₄ Sebagai Sumber Energi Pada Sepeda Listrik*. 10(2), 70–74.

-
- Ramadhan, A., & Subandi, dan S. (2018). Analisis Keandalan Baterai Sebagai Supply Motor Dc Penggerak Pms Di Gardu Induk 150 Kv Kentungan. *Jurnal Elektrikal*, 5(2), 39–46.
- Ricky Agned, N. (2016). *Studi Kapasitas Baterai 110 Vdc pada Gardu Induk 150 kV Bangkinang*. 1–9.
- Satriady, A., Alamsyah, W., Saad, H. I., & Hidayat, S. (2016). PENGARUH LUAS ELEKTRODA TERHADAP KARAKTERISTIK BATERAI LiFePO₄. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 06(02), 43–48.
- Shen, W., Vo, T. T., & Kapoor, A. (2011). *Charging Algorithms of Lithium-Ion Batteries : an Overview*. 1567–1572.
- Subhan, A., & Prihandoko, B. (2017). Studi Sifat Elektrokimia Sel Baterai Sekunder Pouchcell Lithium Ion Lifepo₄/Graphite Aplikasi Daya Tinggi. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 2(3), 173–178. <https://doi.org/10.21009/spektra.023.02>
- Zidni, I. (2020). *ANALISIS EFISIENSI PENGISIAN MUATAN BATERAI LITHIUM IRON PHOSPHATE (LiFePO₄) mencapai derajat Sarjana S1 Disusun oleh : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*.