

## KAJIAN PROSES CHARGE-DISCHARGE PADA SEL AKI Pb-PbO<sub>2</sub>

<sup>1)</sup> Ella Putri Niga Pangestu, <sup>2)</sup> Zainul Arifin Imam Supardi

<sup>1)</sup> Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: ellapangestu16030224004@mhs.unesa.ac.id

<sup>2)</sup> Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: zainulrifin@unesa.ac.id

### Abstrak

Energi listrik masih menjadi energi paling dibutuhkan pada saat ini. Tetapi, jumlah kebutuhan energi tidak sesuai dengan ketersediaan sumber energi. Maka dari itu, energi listrik perlu disimpan. Baterai merupakan perangkat elektronik yang dapat menyimpan energi listrik. Pada penelitian ini digunakan jenis baterai sekunder, yaitu akumulator (aki). Aki yang digunakan yaitu aki bekas yang memiliki konstruksi yang masih bagus dan memiliki tegangan per sel aki sebesar 2 V. Tujuan dari penelitian ini, yaitu (1) menganalisis performa elektroda Pb-PbO<sub>2</sub> saat proses *charge* dan *discharge* muatan pada sel aki, dan (2) mengukur kapasitas listrik sel aki yang digunakan. Sel aki yang diuji berasal dari aki bekas dengan merk Yuasa tipe YT7C dengan spesifikasi 12 V 6 Ah. Proses pengukuran *charge* dengan memberikan tegangan 6 V pada sel aki, dan proses *discharge* dengan memberikan beban lampu 2,5 V 0,3 A. Berdasarkan data hasil pengukuran, elektroda Pb-PbO<sub>2</sub> masih menunjukkan kinerja yang baik dalam proses pengisian dan pengosongan muatan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai tegangan per sel aki masih berada di kisaran nilai 2 V, walaupun telah diuji selama 2 siklus. Selain itu, nilai kapasitas sel aki yang terukur sebesar 0,9 Ah. Nilai tersebut sudah mendekati nilai standar spesifikasi dari aki tersebut, yaitu sebesar 1 Ah.

**Kata Kunci:** sel aki, charge-discharge, kapasitas aki

### Abstract

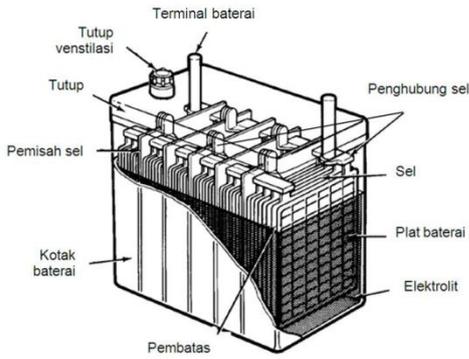
Electrical energy is still the energy most needed today. However, the amount of energy needs does not match the availability of energy sources. Therefore, the energy needs to be stored. A battery is an electronic device that can store electricity. In this study, the type of secondary battery used is as an accumulator. The accumulator used is a former accumulator that still has a good construction and a voltage per cell of 2 V. The purpose of this study, is (1) analyzing the performance of Pb-PbO<sub>2</sub> electrodes during the charge and discharge process of the accumulator cell, and (2) measuring the capacity of the accumulator. The accumulator cells tested were from a former accumulator Yuasa brand YT7C type with 12 V 6 Ah specification. The charge process provides a 6 V voltage to the battery cell, and the discharge process provides a 2.5 V 0.3 A lamp load. Based on the test data, the Pb-PbO<sub>2</sub> electrode still shows good performance in the charge and discharge process. It is indicated by the voltage value per cell which is still in the range of 2 V, even though it has been tested for 2 cycles. Besides, the measured accumulator cell capacity value is 0.9 Ah. This value is close to the accumulator standard specification value, which is equal to 1 Ah.

**Keywords:** accumulator cell, charge-discharge, accumulator capacity

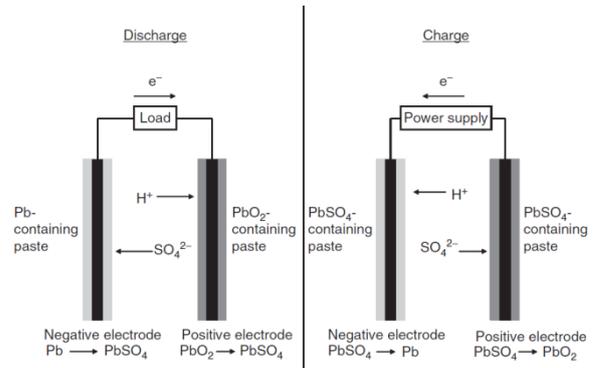
### PENDAHULUAN

Energi listrik menjadi kebutuhan yang sangat penting. Hal tersebut dibuktikan dari meningkatnya kebutuhan energi listrik secara terus menerus saat ini. Jumlah kebutuhan energi sangat berbanding terbalik dengan ketersediaan sumber energi. Untuk menyeimbangkannya, maka dibutuhkan media untuk menyimpan energi tersebut. Divais elektronik yang menyimpan energi listrik diantaranya yaitu baterai.

Baterai dibagi menjadi dua yaitu, baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang hanya dapat digunakan sekali pakai dan tidak dapat diisi ulang, sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan berkali-kali karena dapat diisi ulang (*rechargeable*) (Kiehne, 2003). Salah satu contoh baterai sekunder yang banyak digunakan adalah akumulator atau yang biasa disebut aki. Aki adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi dalam bentuk energi kimia dan mampu mengubah energi kimia menjadi energi listrik.



**Gambar 1.** Bagian-bagian aki (Farizy *et al.*, 2016)



**Gambar 2.** Proses *charge* dan *discharge* pada aki (Pletcher *et al.*, 2009)

Aki merupakan jenis baterai sekunder yang menggunakan timbal sebagai bahan elektrodanya. Aki menggunakan Pb (timbal murni) sebagai anoda, sedangkan PbO<sub>2</sub> (timbal dioksida) digunakan sebagai katoda. Separator ditempatkan sebagai penyekat diantara kedua elektroda tersebut. Larutan elektrolit yang digunakan yaitu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (asam sulfat). Aki yang terisi penuh memiliki kerapatan asam sekitar 1,24 kg/liter pada temperatur 25° C dan akan berubah-ubah sesuai temperatur dan keadaan muatan dari aki (Segara *et al.*, 2013). Aki memiliki beberapa keunggulan, diantaranya yaitu biaya pembuatan yang rendah, dapat diisi ulang, konstruksi yang sederhana dan mudah, serta daya spesifik yang cukup baik (Rezaei *et al.*, 2011). Karakteristik aki dapat dilihat pada Tabel 1.

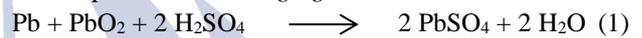
**Tabel 1.** Karakteristik fisis dari aki

Parameter	Nilai
Specific Energy (Wh/kg)	30-50
Energy Density (Wh/L)	70-90
Cycle life (times)	400
Energy Efficiency (%)	100% @20hr-rate 80% @4hr-rate 60% @1hr-rate
Self discharge (%/month)	5 %
Operating temperature (°C)	-25 – 50
Nominal Cell Voltage (V)	2,0
V <sub>cutoff charge</sub> (V)	2,40
V <sub>cutoff discharge</sub> (V)	1,75

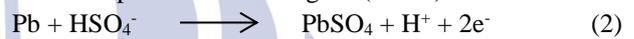
(Afif & Pratiwi, 2015; Barkah & Hidayat, 2019; Farizy *et al.*, 2016; Hua & Syue, 2010)

Saat aki dipakai akan berlangsung proses perubahan dari energi kimia menjadi energi listrik. Proses perubahan energi ini disebut dengan proses *discharging* muatan. Saat aki diisi atau dimuati maka akan terjadi proses *charging* muatan. Proses ini mengubah energi listrik menjadi energi kimia.

Reaksi pada saat *discharging* aki adalah:



a. Reaksi pada elektroda negatif (anoda)



b. Pada elektroda positif (katoda)



Reaksi pada *charging* aki



a. Reaksi pada elektroda negatif (anoda)



b. Reaksi pada elektroda positif (katoda)



(Barkah & Hidayat, 2019)

Kapasitas aki merupakan kemampuan aki untuk menyimpan daya listrik atau besarnya energi yang dapat disimpan dan dikeluarkan oleh aki. Kapasitas aki dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

$$C = I \times t \quad (7)$$

Dimana :

C = kapasitas aki (Ah/mAh)

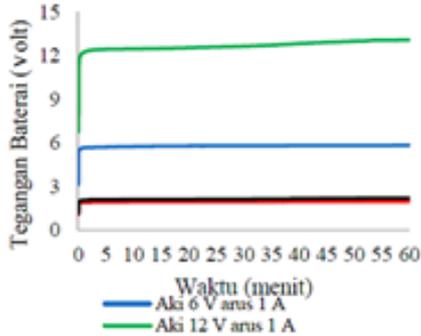
I = kuat arus (A)

t = waktu (jam/sekon)

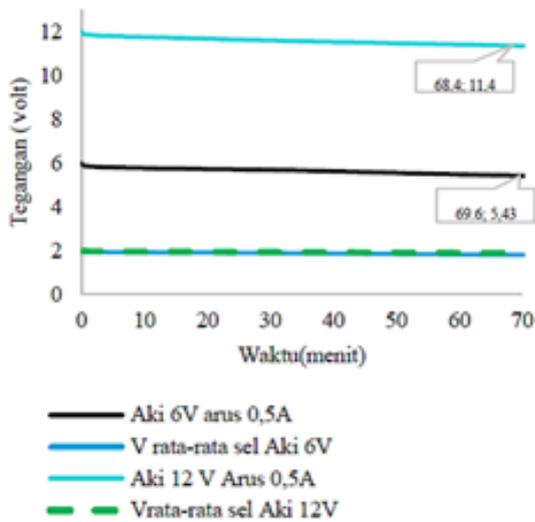
Kapasitas aki dapat dipengaruhi oleh jumlah material pada elektroda, jumlah elektroda pada tiap sel, ukuran dan tebal elektroda, serta kualitas elektrolit yang digunakan (Kiehne, 2003).

Pada penelitian ini menggunakan aki bekas. Hal itu bertujuan untuk membuktikan bahwa aki bekas pun masih bisa digunakan, walau tidak optimal, Selain itu, juga bertujuan untuk memanfaatkan barang bekas, agar tidak menambah limbah pada lingkungan. Namun, aki bekas yang dipilih untuk penelitian yaitu aki yang masih memiliki konstruksi bagus dan tegangan totalnya masih diatas 12 V atau 2 V per selnya.

Penelitian terdahulu telah dilakukan oleh Ghufron *et al* (2017) yang membandingkan proses *charge* dan *discharge* pada aki 6 V dan aki 12 V. Arus yang digunakan pada proses *charge* adalah 1 A, dan pada proses *discharge* adalah 0,5 A.



Gambar 3. Proses *charging* aki dengan arus 1 A



Gambar 4. Proses *discharging* aki dengan arus 0,5 A

Pada Gambar 3 menunjukkan tegangan aki meningkat secara signifikan pada awal *charge* dan kelamaan akan konstan. Nilai rata-rata tegangan pada tiap sel yaitu 2,12 volt. Sedangkan pada Gambar 4 menunjukkan tegangan turun dengan perlahan selama proses *discharge*. Setelah itu tegangan relatif konstan hingga baterai mengalami  $V_{cutoff}$ .  $V_{cutoff}$  merupakan tegangan dimana baterai tidak lagi mampu memberikan arus konstan pada rangkaian listrik dan di tandai dengan turunnya tegangan secara drastis (Ghufron *et al.*, 2017). Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, penelitian ini bermaksud untuk menganalisis performa elektroda Pb-PbO<sub>2</sub> saat proses *charge* dan *discharge* muatan serta mengukur kapasitas sel aki yang digunakan.

## METODE

### A. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sel aki timbal bekas, separator mika, larutan aquades, larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas kimia 250 ml, gelas ukur 100 ml, pipet, multimeter, adaptor, kabel penjepit buaya, dan lampu kecil 2,5 V.

### B. Preparasi sampel

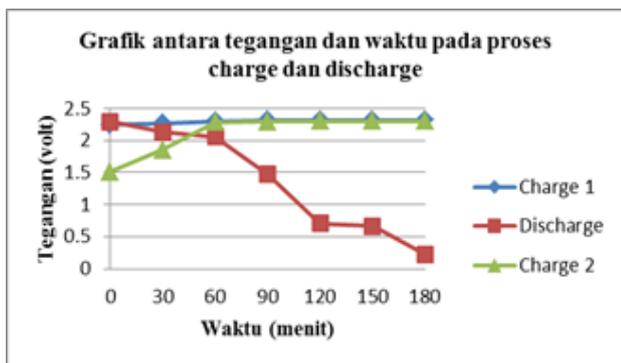
Sel aki didapatkan dengan cara membongkar aki bekas merk Yuasa tipe YT7C 12 V 6 Ah. Setelah itu, separator yang masih menempel pada sel aki dihilangkan hingga bersih. Untuk pengganti separator, digunakan plastik mika yang sudah diberi lubang. Kemudian sel aki disusun sedemikian rupa dan diikat dengan kabel agar separator tidak terlepas. Sel aki tersebut direndam dalam larutan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebanyak 200 ml dan diukur tegangannya dengan multimeter. Sel aki yang digunakan dalam penelitian ini adalah sel aki yang bertegangan 2 volt. Sel tersebut dilakukan *charging* dengan *power supply* dengan tegangan 6 volt selama 3 jam. Setiap 30 menit akan diukur kenaikan tegangannya. Untuk proses *discharging*, sel yang sudah diisi muatannya akan dikosongkan dengan menyambungkan lampu 2,5 V 0,3 A ke rangkaian. Setelah dikosongkan, sel aki diisi kembali guna mengetahui lama waktu yang dibutuhkan untuk tegangan menjadi 2 volt.



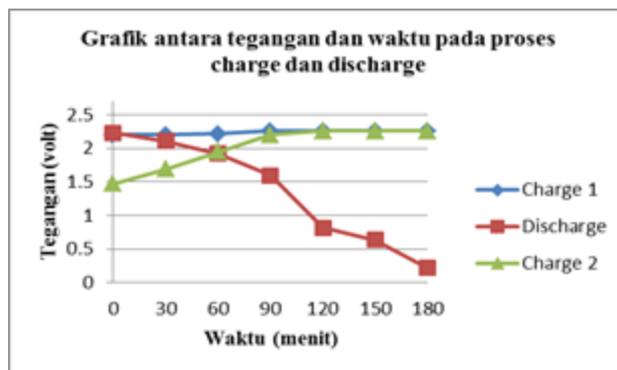
Gambar 5. Proses pengukuran tegangan awal sel aki

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengukuran *charging* sel aki, digunakan rangkaian *power supply* dengan spesifikasi tegangan 6 volt dan arus 1,5 ampere selama 3 jam. Setelah itu, dilakukan pengujian *discharging* baterai dengan memberikan beban pada sel aki yaitu lampu 2,5 volt selama 3 jam. Kemudian, dilakukan proses *charging* kembali selama 3 jam.



Gambar 6. Grafik pengujian sel aki pada siklus pertama



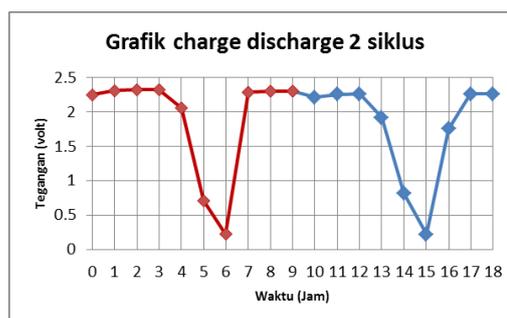
Gambar 7. Grafik pengujian sel aki pada siklus kedua

Hasil grafik pengukuran di atas menunjukkan pola yang sesuai dengan penelitian Ghufron *et al* (2017) seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4. Pada siklus pertama ini, tegangan awal sel aki memiliki nilai 2,246 V. Pada proses *charging*, tegangan akan naik, lalu konstan. Disamping itu, pada proses *discharging*, tegangan menurun secara perlahan lalu drop di akhir. Besar tegangan awal dipengaruhi oleh arus *charge*. Semakin besar arus yang diberikan maka tegangan awal pengisian baterai akan semakin besar juga. Hal ini dilaporkan oleh Pranata *et al* (2019) pada penelitiannya dengan memvariasikan arus *charge* dan *discharge*. Selain itu, arus *charge* juga berpengaruh terhadap lamanya waktu pengisian (Barkah & Hidayat, 2019). Berdasarkan tabel di atas, tegangan yang dimiliki sel aki akan naik secara bertahap hingga menunjukkan nilai yang konstan, yaitu 2,321 V. Kenaikan tegangan tersebut mengindikasikan terjadinya proses penyimpanan energi listrik. Setelah itu, dilakukan proses *discharge* dengan memberi beban lampu. Tegangan sel akan turun secara perlahan dan *drop* setelah menyentuh angka 1,5 V. Hal ini menunjukkan bahwa pada titik tersebut, aki mengalami *V<sub>cutoff</sub>*. Selanjutnya, sel aki tidak mampu mempertahankan tegangannya dan cenderung akan mengalami penurunan secara tajam. Lampu beban mati pada menit ke-150 dengan tegangan 0,667 V. Namun, tegangan benar-benar berhenti pada 0,225 V. Tegangan akhir sel aki setelah tidak diberi beban menunjukkan angka 1,514 V. Kemudian dilakukan pengulangan proses *charging*. Pada *charging* kedua, tegangan konstan pada angka 2,301 V. Hal tersebut menunjukkan bahwa batas maksimal pengisian sel aki berada pada angka tersebut.

Setelah siklus pertama, pengujian sel aki dilanjutkan pada siklus kedua, dengan kondisi pengujian yang sama seperti pada siklus pertama. Hasil grafik siklus kedua ditunjukkan pada Gambar 7.

Siklus kedua ini juga memiliki bentuk grafik yang sesuai dengan siklus pertama. Pada siklus kedua, terdapat perubahan tegangan awal sel aki. Perbedaan nilai ini dikarenakan muatan aki telah berkurang akibat proses *discharge* pada siklus pertama. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Ghufron *et al* (2018). Pada siklus pertama, nilai tegangan akhir menunjukkan nilai 2,301 V. Namun, sel aki mengalami *self-discharge* sehingga tegangan awal untuk siklus kedua ini bernilai 2,198 V. Pada proses *charging*, grafik menunjukkan terjadinya kenaikan tegangan yang lama-kelamaan akan menjadi konstan. Seperti siklus pertama, tegangan juga mulai turun drastis saat menyentuh angka 1,5 V. Hal ini menunjukkan pada sel aki ini memiliki nilai *V<sub>cutoff</sub>* sebesar 1,5 V. Pada penelitian yang dilakukan oleh Khairati *et al* (2018) dan Ghufron *et al* (2017), *V<sub>cutoff</sub>* bernilai 1,8 V per selnya. Sedangkan, untuk aki 6 V memiliki nilai *V<sub>cutoff</sub>* sebesar 5,50 V seperti yang dilaporkan oleh Pranata *et al* (2019). Selain itu, pada penelitian Segara *et al* (2013) memiliki nilai *V<sub>cutoff</sub>* sebesar 10,5 V untuk aki 12 V. Tegangan akhir sel aki setelah tidak diberi beban menunjukkan angka 1,473 V. Setelah itu, dilanjutkan dengan proses *charging* kembali, hingga mencapai nilai konstan pada tegangan 2,240 V.

Hasil proses pengisian dan pengosongan pada aki yang diuji, telah dikomparasikan dalam bentuk grafik dua siklus proses pengisian dan pengosongan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

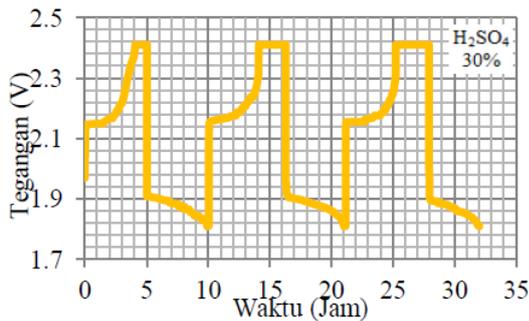


Gambar 8. Grafik tegangan terhadap waktu pada pengujian *charge-discharge* sel aki untuk kedua siklus

Pada Gambar 8, siklus pertama ditandai dengan grafik berwarna merah, sedangkan untuk siklus yang kedua ditandai dengan grafik berwarna biru. Pada siklus pertama, posisi puncak tertinggi terdapat pada tegangan dengan waktu 3 jam, yaitu sebesar 2,321 V. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu ke- 3 jam, tegangan sel aki mencapai batas maksimum pengisiannya. Selain itu, pada posisi puncak minimal yaitu pada waktu ke- 6 jam, sel aki memiliki tegangan 0,225 V. Hal ini mengindikasikan bahwa tegangan sel aki tersebut telah mencapai batas minimum pada proses pengosongan.

Begitu pula, pada siklus kedua, puncak tertinggi menunjukkan nilai maksimum tegangan saat pengisian, sedangkan puncak minimal menunjukkan bahwa tegangan sel aki saat proses pengosongan telah mencapai nilai minimum. Pada siklus kedua, puncak tertinggi terdapat pada tegangan di waktu ke-12 jam dengan nilai 2,256 V. Sedangkan, puncak minimal terdapat pada tegangan di waktu ke- 15 jam dengan nilai 0,218 V.

Grafik dua siklus pada Gambar 8 memiliki kesesuaian pola grafik dengan penelitian Khairati *et al* (2018), yang ditunjukkan pada Gambar 9. Perbedaannya hanya terletak pada penambahan proses *charge*, sehingga pada penelitian ini berlangsung proses *charge-discharge-charge*. Kedua siklus pengisian-pengosongan menunjukkan karakteristik yang serupa sehingga diketahui bahwa aki timbal yang telah diuji bersifat dapat diisi ulang (Ghufron *et al.*, 2018).



**Gambar 9.** Grafik tegangan terhadap waktu 3 siklus pengisian pengosongan (Khairati *et al.*, 2018)

Adapun nilai data hasil pengujian selama proses *charge-discharge* telah dirangkum seperti pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Data pengujian *charge-discharge* sel aki  $V_{c1}$  merupakan tegangan rata-rata *charge* 1 dalam satuan volt,  $V_d$  tegangan rata-rata *discharge* dalam satuan volt,  $V_{c2}$  tegangan rata-rata *charge* 2 dalam satuan volt,  $I_c$

Siklus	$V_{c1}$	$V_d$	$V_{c2}$	$I_c$	$I_d$	$t_{c1}$	$t_d$	$t_{c2}$
1	2.3	1.37	2.12	1.5	0.3	3	3	3
2	2.23	1.35	2.01	1.5	0.3	3	3	3

arus *charge* dalam satuan ampere,  $I_d$  arus *discharge* dalam satuan ampere,  $t_{c1}$  lama waktu *charge* 1 dalam satuan jam,  $t_d$  lama waktu *discharge* dalam satuan jam, dan  $t_{c2}$  lama waktu *charge* 2 dalam satuan jam.

Pada pengujian ini, juga dapat diperoleh nilai kapasitas sel aki. Dengan menggunakan persamaan (7), maka nilai kapasitas dari sel aki dapat diketahui. Berdasarkan hasil perkalian arus dan waktu selama *discharge*, maka kapasitas sel aki tersebut yaitu 0,9 Ah. Hasil ini menunjukkan kesesuaian dengan nilai kapasitas yang tertera pada data spesifikasi aki tersebut yaitu 6 Ah atau 1 Ah per selnya.

## PENUTUP

### A. Simpulan

Sel aki merk Yuasa tipe YT7C 12 V 6 Ah telah diuji performa elektroda Pb-PbO<sub>2</sub> dalam proses *charge-discharge* muatan. Proses *charge* dengan memberikan tegangan 6 V pada sel aki, dan proses *discharge* dengan memberikan beban lampu 2,5 V 0,3 A. Berdasarkan data hasil pengujian, elektroda Pb-PbO<sub>2</sub> masih menunjukkan kinerja yang baik dalam proses pengisian dan pengosongan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai tegangan per selnya masih berada di kisaran 2 V. Selain itu, nilai kapasitas sel aki yang terukur sudah mendekati nilai standar spesifikasi dari aki tersebut.

### B. Saran

Perlu dilakukan pengujian *charge-discharge* ini menggunakan alat uji EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*). Hal ini dimaksudkan agar nilai yang muncul akan lebih akurat serta memperoleh gambar grafik yang lebih bagus.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afif, M. T., & Pratiwi, I. A. P. 2015. Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. 6(2), pp. 95–99. doi:10.21776/ub.jrm.2015.006.02.1
- Barkah, R. D., & Hidayat, S. 2019. Simulasi Charge Discharge Model Baterai Lead Acid. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, Vol. 3(2): pp. 128–134. doi:10.24198/jiif.v3i2.23257
- Farizy, A. F., Asfani, D. A., & Soedibjo. 2016. Desain Sistem Monitoring State Of Charge Baterai Pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic Dengan Mempertimbangkan Temperature. *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 5(2): pp. 278–282. doi:10.12962/j23373539.v5i2.16203

- Ghufron, M., Istiroyah, Perwita, C. A., & Pranata, K. B. 2017. Analisis Efisiensi Energi Flow Baterai Lead Acid Keadaan Statis Dan Dinamis. *Jurnal ROTOR*, Vol.10: pp. 42–46. doi:10.19184/rotor.v10i2.5912
- Ghufron, M., Pranata, K. B., Istiroyah, Yusmawanto, M., & Perwita, C. A. 2018. Charging Time Influence On Dynamic Lead Acid Battery Capacity With H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Electrolyte. *AIP Conference Proceedings*, 05006, pp. 4–9. doi:10.1063/1.5062756
- Hua, Chih-Chiang & Syue, Zong-Wei. 2010. Charge and Discharge Characteristics Of Lead-Acid Battery and LiFeO<sub>4</sub> Battery. *International Power Electronics Conference, IPEC 2010*, Vol 95: pp. 1478–1483. doi:10.1109/IPEC.2010.5544506
- Keshan, H., Thornburg, J., & Ustun, T. S. 2016. Comparison of Lead-Acid and Lithium Ion Batteries For Stationary Storage In Off-Grid Energy Systems. *IET Conference Publications*, 2016 (CP688), pp. 1–7. doi:10.1049/cp.2016.1287
- Khairati, N., Amirullah, A., Susilo, R. D., Setiawan, Y., Yusmawanto, M., Masruroh, Perwita, C. A., Ghufron, M., & Pranata, K. B. 2018. Optimasi Kapasitas Baterai Dinamis Asam Timbal (Redox Flow Battery). *SMARTICS Journal*, Vol 4(2): pp. 44–48. doi:10.21067/smartics.v4i2.2666
- Kiehne, H. A. 2003. *Battery Technology Handbook Second Edition*. New York: Marcell Dekker, Inc.
- Pletcher, D., Walsh, F. C., & Wills, R. G. A. 2009. Secondary batteries - High temperature systems - Flow batteries. *Encyclopedia of Elechemical Power Source*. pp. 745–749.
- Pranata, K. B., Sulistyanto, M., Ghufron, M., & Yusmawanto, M. 2019. Pengaruh Variasi Arus Pengisian Pengosongan Muatan pada Model Baterai Lead Acid Terhadap Perubahan Efisiensi Energi. *Jurnal Fisika Flux*, Vol 16: pp. 1–6. doi:10.20527/flux.v16i1.5311
- Segara, A. B. P., Riawan, D. C., & Suryoatmojo, H. 2013. Monitoring Kinerja Baterai Berbasis Timbal untuk Sistem Photovoltaic. *Jurnal Teknik POMITS*, Vol. (1): pp. 1–6.
- Rezaei, B., Havakeshian, E., & Hajipour, A. R. 2011. Influence Of Acidic Ionic Liquids As An Electrolyte Additive On The Electrochemical and Corrosion Behaviors of Lead-Acid Battery. *Journal of Solid State Electrochemistry*. Vol. 15(2): pp. 421–430. doi:10.1007/s10008-010-1091-z

