

## STUDI PERFORMA AKI MERK GS ASTRA KETIKA PROSES CHARGE-DISCHARGE SEL AKI Pb-PbO<sub>2</sub>

Nega Barlih Amrih Laksono, Zainul Arifin Imam Supardi

<sup>1)</sup> Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, e-mail : negalaksone16030224033@mhs.unesa.ac.id

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

### Abstrak

Kebutuhan energi listrik untuk saat ini sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari namun berbanding terbalik dengan kebutuhan energi yang ada. Untuk menyeimbangkannya dibutuhkan media penyimpanan energi, yaitu baterai/aki. Baterai merupakan sel elektrokimia yang terdiri dari sepasang elektroda (katoda-anoda) dan elektrolit, sel ini berfungsi sebagai sumber energi listrik yang diperoleh sebagai hasil konversi energi kimia melalui reaksi reduksi dan oksidasi selain itu dapat menyimpan energi listrik dalam jangka waktu lama. Pada penelitian ini dilakukan menggunakan baterai jenis sekunder yaitu akumulator. 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 sel aki yang digunakan. Sel aki yang diuji dalam penelitian ini berasal dari aki merk GS tipe GM5Z - 3B dengan spesifikasi 12V 6 Ah. Saat proses pengujian *charge* sel aki dengan memberikan tegangan 6 V 1,5 A dari adaptor, dan proses *discharge* sel aki diberikan beban lampu 2,5 V 0,3 A. Lama waktu yang diperlukan untuk proses *charge* dan *discharge*, yaitu 3 jam untuk masing-masing proses. Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian elektroda Pb-PbO<sub>2</sub> menunjukkan kinerja baik dalam proses pengisian dan pengosongan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai tegangan per selnya berada di kisaran 2 V, meskipun telah diuji dengan 2 siklus. Selain itu, nilai kapasitas sel aki yang terukur sudah mendekati nilai standar spesifikasi dari aki.

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

### Abstract

*At this time, electrical energy is needed in daily life but it inversely proportional to the existing energy needs. To balance it out, it takes energy storage media, namely batteries/ accumulator. Batteries are electrochemical cells consisting of a pair of electrodes (cathodes-anodes) and electrolytes, these cells function as sources of electrical energy obtained as a result of the conversion of chemical energy through reduction and oxidation reactions. In addition, it can store electrical energy with long lasting time. This study conducted using a secondary battery, which is the accumulator. The purpose of this study are (1) to analyze the performance of Pb-PbO<sub>2</sub> electrodes during the charging and discharging in an accumulator cell, and (2) measuring the capacity of the accumulator cells used. The accumulator cells tested in this study came from GM brand type GM5Z-3B batteries with 12V 6 Ah specifications. When testing the accumulator cell charging by giving a voltage of 6 V 1.5 A from the adaptor, and the process of discharging the accumulator cell is given a lamp load of 2.5 V 0.3 A. The length of time required for the process of charging and discharging, which is 3 hours for each process. Based on data obtained from the Pb-PbO<sub>2</sub> electrode test results showed a good performance in the charging and discharging process. This is known from the voltage value per cell in the range of 2 V, even though it has been tested with 2 cycles. In addition, the value of the accumulator cell capacity measured is close to the standard specification value of the accumulator.*

**Keywords:** accumulator cell, electrical energy, Charge-discharge, accumulator capacity

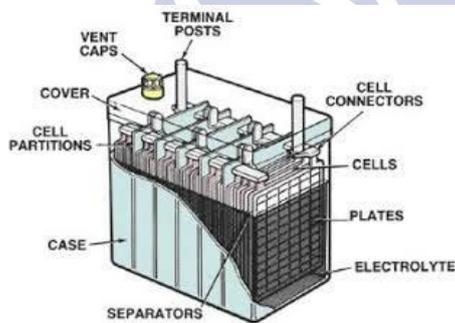
### PENDAHULUAN

Banyaknya kebutuhan energi yang diperlukan sangat berbanding terbalik dengan sumber energi yang ada. Untuk menyeimbangkannya, maka dibutuhkan media untuk menyimpan energi tersebut. Baterai adalah sel

elektrokimia yang terdiri dari sepasang elektroda (katoda-anoda) dan elektrolit, sel ini berfungsi sebagai sumber energi listrik yang diperoleh sebagai hasil konversi energi kimia melalui reaksi redoks (reduksi dan oksidasi). Berdasarkan sistem, baterai terbagi menjadi dua jenis

yaitu, sistem primer dan sistem sekunder. Sistem baterai primer merupakan sistem baterai yang tidak dapat diisi ulang kembali setelah kondisi baterai telah habis, sedangkan sistem baterai sekunder merupakan sistem baterai yang dapat diisi ulang kembali (*charge*). Baterai sekunder memiliki bahan katoda dan anoda yang bersifat *recyclable*, yaitu dapat terisi kembali bila diberi tegangan listrik dari luar. Pengisian tersebut melalui proses kimia yang bersifat reversible. Proses kimia itu bekerja dengan membalikan kutub polaritas tegangannya sehingga reaksi berlangsung ke arah yang berlawanan dengan arah reaksi redoks semula.

Baterai sekunder terbagi menjadi empat yaitu baterai basah (*accu*), baterai hybrid, baterai MF & baterai kering. Dari ke empat baterai tersebut, baterai yang banyak digunakan adalah baterai basah (*accu*). (Wailanduw, 2010) Hal tersebut dikarenakan harga yang relatif murah, dapat menerima beban listrik yang berubah dan konstan, dan pemakaiannya yang lebih lama. Aki untuk motor memiliki tegangan sebesar 6 Volt, 9 Volt dan 12 Volt sedangkan untuk mobil memiliki tegangan sebesar 12 Volt.



Gambar 1. Komponen aki

(Sumber :

<http://www.autoshop101.com/trainmodules/batteries/106.html>)

Baterai basah (*accu*) memiliki bagian Pb (timbal murni) bertindak sebagai elektroda negatif dan PbO<sub>2</sub> (timbal oksida) sebagai elektroda positif. Diantara kedua elektroda ditempatkan sebuah separator sebagai pemisah. Pada separator berfungsi sebagai pemisah dan larutan elektrolit yang digunakan ialah H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, larutan elektrolit yang digunakan yaitu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (asam sulfat). Dalam sebuah aki terjadi proses elektrokimia yang *reversible*. Saat aki dipakai akan berlangsung proses perubahan energi kimia menjadi energi listrik (*discharging*). Sedangkan, saat aki diisi atau dimuati akan terjadi proses perubahan energi listrik menjadi energi kimia (*charging*) Kinerja dari baterai jenis ini memiliki kualitas yang baik, namun memiliki kekurangan yaitu pada bobot aki. (Arakawa, 2012) Pada proses charge-discharge juga mengalami kristalisasi dari larutan elektrolit yang merupakan aspek penting dari operasi baterai karena pengisian dan pengosongan

menyebabkan elektrolit mengkristal pada elektroda dari larutan elektrolit. Dalam kristalisasi pada tekanan tinggi, laju nukleasi jauh lebih tinggi daripada laju pertumbuhan kristal, sehingga kristal kecil dapat diperoleh. Teknologi kristalisasi mungkin berguna untuk peningkatan sifat baterai. Dalam penelitian ini, kami memeriksa baterai asam timbal yang dapat diisi ulang, yang saat ini digunakan secara luas, dan dengan demikian, peningkatan sifat baterai asam timbal akan bermanfaat. Kami melakukan pengisian listrik dan pemakaian baterai asam timbal di bawah tekanan tinggi, dan mempertimbangkan efek tekanan tinggi pada efisiensi pengisian atau pengosongan.

### Karakteristik dan sifat timbal

Timbal atau dalam keseharian lebih dikenal dengan nama timah hitam dalam bahasa ilmiahnya dinamakan plumbum, dan logam ini disimbolkan dengan Pb. Logam ini termasuk kedalam kelompok logam-logam golongan IV-A pada tabel periodik unsur kimia. mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat atom (BA) 207,2. (Nasution, 2014)

Timbal (Pb) berbentuk padat pada suhu kamar, bertitik lebur 327,4 °C dan memiliki berat jenis sebesar 11,4/1. Pb jarang ditemukan di alam dalam keadaan bebas melainkan dalam bentuk senyawa dengan molekul lain, misalnya dalam bentuk PbBr<sub>2</sub> dan PbCl<sub>2</sub>. (Gunita, 2012) Dibawah ini merupakan tabel yang menunjukkan beberapa sifat fisika yang dimiliki timbal.

Tabel 1. Sifat-sifat fisika Timbal

Parameter Fisis	Nilai
Nominal Cell voltage, V	2.0
Specific energy (Wh/kg)	35 – 40
Energy density (Wh/L)	70 – 90
Charge retention at 20°C ( shel life)	6 -9 months
Overall service life	15 years
Cycle life, cycle	1500 – 5000
Operating temperature. 0C	-40 to 60

Sumber: (Barkah et al, 2019)

### Proses Pengosongan (*Discharge*)

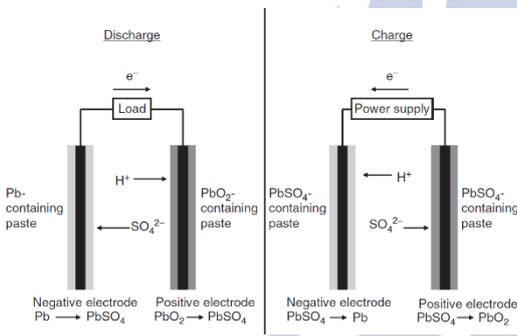
Proses pengosongan (*discharge*) terjadi ketika aki dipakai atau diberikan beban. Elektron akan mengalir dari anoda menuju katoda dengan melewati beban tersebut. Ion-ion negatif mengalir ke katoda dan ion-ion positif mengalir ke anoda. Tiap molekul dari larutan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> akan pecah menjadi dua, yaitu ion hidrogen yang bermuatan positif (2H<sup>+</sup>) dan ion sulfat yang bermuatan negatif (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Hal ini ditunjukkan sebagai berikut.

Kemudian, ion sulfat tersebut bergabung dengan timbal (Pb) di kedua elektroda yang akan menjadi timbal sulfat (PbSO<sub>4</sub>). Sedangkan ion hidrogen akan ditarik oleh timbal dioksida (PbO<sub>2</sub>) dan bersatu dengan atom oksigen membentuk molekul air (H<sub>2</sub>O).

Proses pemberian elektron pada Pb dan pengambilan elektron pada PbO<sub>2</sub> dalam reaksi kimia ini menyebabkan adanya beda potensial listrik diantara kutub sel. Reaksi tersebut terjadi secara terus menerus hingga sel aki berkurang dayanya.

**Proses Pengisian (charging) Aki**

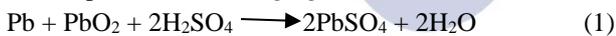
Proses pengisian (charging) aki ini dilakukan setelah daya aki melemah. Aki akan dialiri listrik DC yang memiliki beda potensial yang lebih besar. Elektron akan dialirkan dari katoda menuju anoda. Pada proses charging, setiap molekul air akan terurai. Ion oksigen yang bebas bersatu dengan tiap atom Pb pada plat katoda membentuk PbO<sub>2</sub> (timah dioksida). Lalu, setiap pasang ion hidrogen (2H<sup>+</sup>) akan bersatu dengan ion negatif SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> pada plat anoda untuk membentuk asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Proses charging dan discharging dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Proses charge dan discharge pada aki (Wilis., et al, 2015)

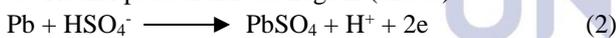
Saat proses reaksi saat charge dan discharge adalah sebagai berikut :

Reaksi pada saat discharging aki



(Barkah & Hidayat, 2019)

a. Reaksi pada elektroda negatif (anoda)



(Barkah & Hidayat, 2019)

b. Pada elektroda positif (katoda)



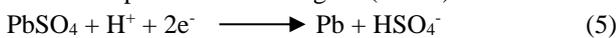
(Barkah & Hidayat, 2019)

Reaksi pada charging aki



(Barkah & Hidayat, 2019)

a. Reaksi pada elektroda negatif (anoda)



(Barkah & Hidayat, 2019)

b. Reaksi pada elektroda positif (katoda)



(Barkah & Hidayat, 2019)

Kapasitas aki merupakan kemampuan baterai 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 :

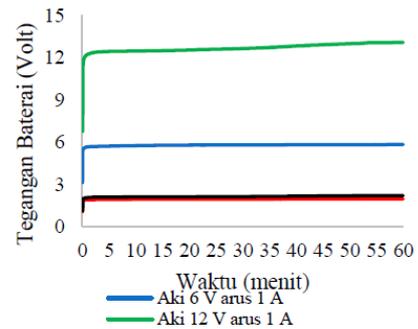
C = kapasitas aki (Ah/mAh)

I = kuat arus (A)

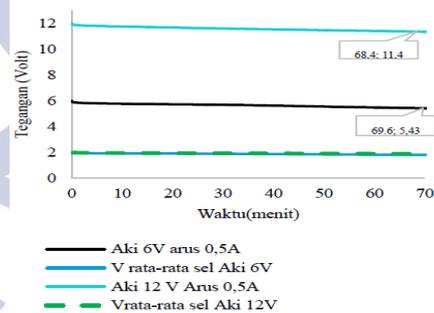
t = waktu (jam/sekon)

(Barkah & Hidayat, 2019)

Penelitian terdahulu telah dilakukan oleh Ghuftron 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 V, dan pada proses discharge adalah 0,5 V



Gambar 3(a). Proses charging aki dengan arus 1 A



Gambar 3(b) Proses discharging aki dengan arus 0,5 A

**METODE**

**A. Alat dan Bahan**

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



Gambar 4. Sel aki bekas



Gambar 5. Separator mika



Gambar 6.  
Aquades



Gambar 7.  
H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



Gambar 8. Gelas kimia 250 ml



Gambar 9. Gelas ukur 100 ml



Gambar 10.  
Pipet



Gambar 11.  
Multimeter



Gambar 12.  
Adaptor



Gambar 13. Kabel penjepit buaya



Gambar 14.  
Lampu 2,5 V

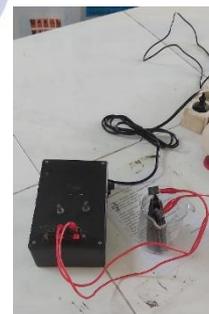
## B. Preparasi sampel

Sel aki yang digunakan didapat dengan cara membongkar aki bekas merk GS tipe GM5Z - 3B 12V 6 Ah. Pertama sel aki dikeringkan terlebih dahulu, setelah kering kemudian separator yang masih menempel pada sel aki dihilangkan hingga bersih. Untuk pengganti separator yang telah dibersihkan tersebut menggunakan plastik mika yang sudah diberi lubang kecil. Kemudian sel aki disusun sedemikian rupa dan diikat dengan kabel ties agar separator tidak terlepas. Sel aki tersebut direndam dalam larutan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebanyak 200 ml dan diukur tegangan sel aki dengan multimeter. Sel aki yang digunakan dalam penelitian ini bertegangan 2 volt. Sel aki tersebut dilakukan charging menggunakan adaptor dengan tegangan 6 volt selama 3 jam. Setiap 30 menit akan diukur kenaikan tegangan dari sel aki. Untuk proses discharging, sel aki yang sudah terisi oleh muatan akan dikosongkan dengan menyambungkan lampu 2,5 V 0,3 A ke rangkaian hingga

lampu tersebut terlihat redup. Setelah dikosongkan, sel aki dilakukan charging kembali guna mengetahui lama waktu yang dibutuhkan untuk tegangan menjadi 2 V kembali.



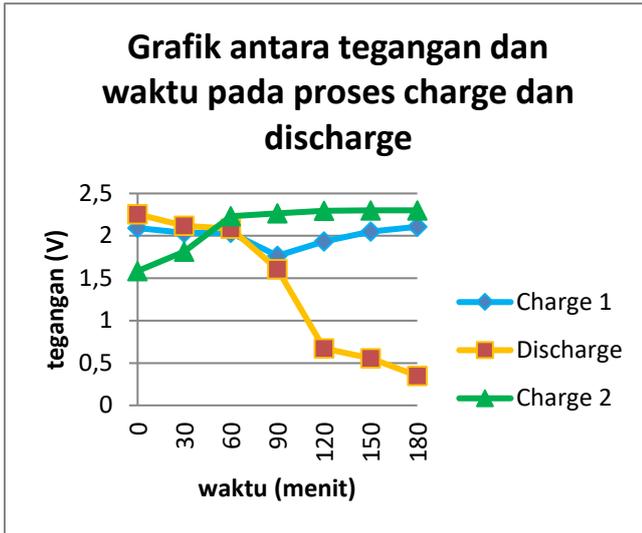
Gambar 15.  
Proses charging



Gambar 16. Proses discharging

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian *charging* sel aki, dengan menggunakan *power supply* serta spesifikasi tegangan 6 Volt dan arus 1,5 A selama 3 jam. Setelah itu, dilakukan pengujian *discharging* dengan memberikan beban pada sel aki yaitu lampu 2,5 Volt selama 3 jam. Kemudian, dilakukan proses *charging* kembali selama 3 jam.



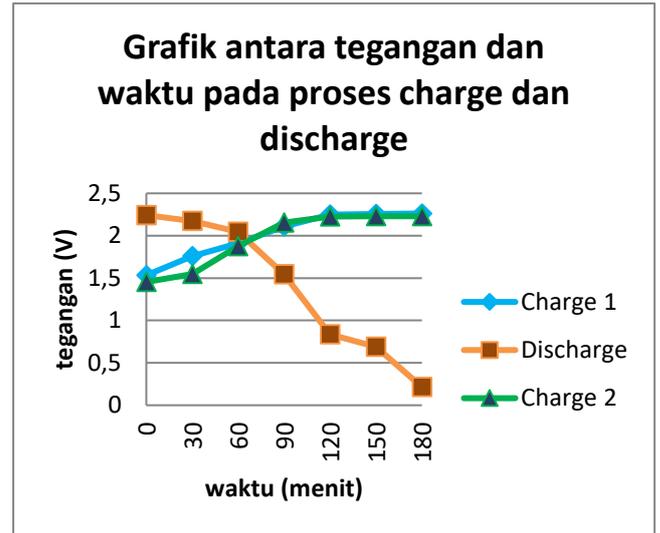
Gambar 17. Grafik pengujian sel aki pada siklus pertama

Berdasarkan grafik diatas, pada proses *charging* tegangan pada sel aki akan naik secara bertahap hingga menunjukkan nilai yang konstan, yaitu 2,107 V. Setelah itu, dilakukan proses *discharge* dengan memberi beban lampu yang memiliki tegangan 2,5 V dimana tegangan awal sel aki 2,255 V. Tegangan pada sel aki akan turun secara perlahan, ketika tegangan sel aki pada menit ke-120 lampu padam dan pada menit ke-150 tegangan mengalami drop hingga 0,553 V. Kemudian, sel aki tidak mampu mempertahankan tegangannya dan cenderung mengalami penurunan. Lampu yang dijadikan beban padam dengan tegangan 0,670 V. Namun, tegangan benar-benar berhenti pada 0,349 V. Setelah beban lampu di lepas dari rangkain tegangan akhir sel aki menunjukkan tegangan 1,132 Volt. Kemudian dilakukan dilakukan proses *charging* untuk siklus kedua. Berikut di bawah ini data hasil pengujian pada siklus pertama ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Data hasil pengujian *charge-discharge* sel aki pada siklus pertama

Waktu (menit)	Charge 1 (V)	Discharge (V)	Charge 2 (V)
0	2,093	2,255	1,585
30	2,036	2,117	1,814
60	2,035	2,083	2,230
90	1,765	1,605	2,265
120	1,935	0,670	2,297
150	2,050	0,553	2,301
180	2,107	0,349	2,301

Setelah siklus pertama dilakukan, pengujian sel aki dilanjutkan pada siklus kedua dengan proses pengujian yang sama seperti pada siklus pertama.



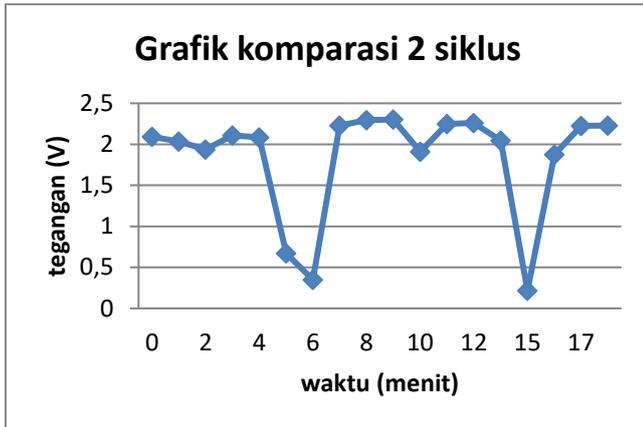
Gambar 18. Grafik pengujian sel aki pada siklus kedua

Pada siklus kedua ini terdapat perubahan tegangan awal sel aki. Ketika akan melakukan proses pengujian *charging*, tegangan awal sel aki menunjukkan 1,534 V tegangan sel aki mengalami perbedaan saat terakhir *charging* di siklus pertama dikarenakan pengujian dilakukan di hari berikutnya. Pada saat proses *charging*, menunjukkan terjadinya kenaikan tegangan sel aki yang secara perlahan menjadi konstan dengan nilai tegangan 2,262 V. Setelah itu, dilakukan proses *discharging* sel aki dengan diberikan beban lampu 2,5 V yang mana tegangan awal 2,242 V. Tegangan sel aki secara perlahan akan mengalami penurunan, pada menit ke-150 lampu padam. Lampu yang dijadikan beban padam dengan tegangan 0,689 V. Tegangan benar-benar berhenti tidak mengalami perubahan pada 0,215 V. Akhir tegangan sel aki setelah tidak diberi beban menunjukkan angka 1,145 V. Kemudian, dilanjutkan dengan proses *charging* kembali selama 3 jam pada sel aki tersebut hingga tegangan menjadi konstan 2,230 V. Berikut data dibawah ini hasil pengujian pada siklus kedua ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Data hasil pengujian *charge-discharge* sel aki pada siklus kedua

Waktu (menit)	Charge 1 (V)	Discharge (V)	Charge 2 (V)
0	1,534	2,242	1,554
30	1,760	2,175	1,648
60	1,910	2,045	1,976
90	2,108	1,543	2,156
120	2,250	0,834	2,226
150	2,255	0,689	2,230
180	2,262	0,215	2,230

Hasil proses pengisian dan pengosongan pada sel aki yang diuji, telah dikompasikan dalam bentuk grafik satu siklus proses pengisian dan pengosongan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 19. Grafik tegangan terhadap waktu pada

pengujian *charge-discharge* sel aki untuk kedua siklus. Adapun nilai data hasil pengujian selama proses *charge-discharge* telah dirangkum seperti pada Tabel 4.

Siklus	$V_{c1}$	$V_d$	$V_{c2}$	$I_c$	$I_d$	$t_{c1}$	$t_d$	$t_{c2}$
1	2	1,37	2	1,5	0,3	3	3	3
2	2,01	1,39	2	1,5	0,3	3	3	3

Tabel 4. Data pengujian *charge-discharge* sel aki

Dengan  $V_{c1}$  merupakan tegangan rata-rata *charge* ke-1 dalam satuan Volt,  $V_d$  tegangan rata-rata *discharge* dalam satuan Volt,  $V_{c2}$  tegangan rata-rata *charge* ke-2 dalam satuan Volt,  $I_c$  arus *charge* dalam satuan Ampere,  $I_d$  arus *discharge* dalam satuan Ampere,  $t_{c1}$  lama waktu *charge* ke-1 dalam satuan jam,  $t_d$  lama waktu *discharge* dalam satuan jam, dan  $t_{c2}$  lama waktu *charge* ke-2 dalam satuan jam. (Pranata, 2019)

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

(Kosasih, 2018) Menunjukkan bahwa hubungan antara arus dan waktu pada baterai terjadi perbedaan penurunan arus dengan arus listrik yang didapatkan, sehingga semakin banyak penambahan waktu yang digunakan maka akan semakin kecil arus listrik yang dihasilkan. Dengan begitu terbukti bahwa semakin lama proses *discharge* maka arus listrik yang dihasilkan kecil

sehingga lampu padam di menit ke-120 pada percobaan pertama dan menit ke-150 pada percobaan kedua.

(Segara, 2013) Perubahan arus yang menuju beban dari baterai karakteristiknya sama dengan tegangan baterai. ketika mencapai tegangan *cut-off* pada baterai, maka arus yang diberikan oleh baterai akan mengalami penurunan juga,

(Pranata, 2019) sehingga hal tersebut juga mempengaruhi rentang tegangan kinerja saat proses pengisian dimana mempunyai nilai kesebandingan dengan nilai arus pengisian. Semakin tinggi perlakuan arus pengisian maka semakin besar pula rentang tegangan kinerja baterai. Namun, berlainan pada tegangan kinerja saat proses pengosongan yang mempunyai perbandingan berbalik nilai. Rentang tegangan kinerja proses pengosongan semakin rendah jika arus pengosongan semakin besar.

(Wang, 2020) Untuk manajemen pengisian daya, kita biasanya perlu waktu pengosongan (MRDT) dan waktu pengisian (MRCT). MRDT didefinisikan sebagai waktu baterai dapat memenuhi arus debit maksimum sampai tegangan turun ke tegangan *cut-off* batas bawah sedangkan MRCT didefinisikan sebagai waktu minimum yang mampu dilakukan baterai memenuhi profil arus muatan maksimum sampai tegangan mencapai nya batas tegangan *cut-off* yang lebih tinggi.

Metode pengisian baterai tegangan konstan adalah proses pengisian baterai dengan tegangan tetap atau konstan selama waktu tertentu. Metode pengisian jenis ini lebih banyak dipakai dari pada jenis arus konstan, kelemahan dari metode ini ketika kondisi baterai habis, maka arus awal pengisian dapat mencapai nilai yang lebih tinggi melebihi arus maksimum yang ditentukan oleh produsen baterai (Morgan, 2014).

Untuk *state of charge* dalam kondisi *under charge* dan *under discharge*, nilai tegangan terminal baterai sangat dipengaruhi oleh besarnya arus pengisian maupun arus penggunaan (Prasetyono, 2016).

Baterai tidak akan meluahkan apabila energi yang tersimpan baterai tidak penuh. Sehingga kondisi energi yang disimpan baterai akan terjaga pada kondisi maksimal saat baterai telah penuh. Karena saat baterai mencapai titik penuh maka arus peluahkan akan mengalir untuk menghindari baterai dari arus pengisian (Rismansyah, 2016).

## PENUTUP

### Simpulan

Sel aki merk GS tipe GM5Z - 3B 12 V 6 Ah yang telah diuji performa elektroda Pb-PbO<sub>2</sub> dalam proses *charge-discharge* muatan dapat diketahui performa tegangan sel aki ketika belum mendapat perlakuan *discharge* dan harus dilakukan *charge* terlebih dahulu. Pada proses *charge* sel

aki diberikan tegangan 6 V 1,5 A dari adaptor dan pada proses *discharge* sel aki diberikan beban lampu 2,5 V 0,3 A. Pada pengujian *charge-discharge* yang dilakukan menggunakan 2 siklus, dimana siklus pertama dan kedua menunjukkan performa tegangan yang diharapkan. Berdasarkan data hasil pengujian yang telah dilakukan, elektroda Pb-PbO<sub>2</sub> menunjukkan kinerja yang baik dalam proses pengisian dan pengosongan. Hal ini dapat dilihat dari tabel pengujian dimana nilai tegangan sel aki masih berada di kisaran 2 V. Selain itu, nilai kapasitas sel aki yang terukur sudah mendekati nilai standar spesifikasi dari aki tersebut.

### Saran

Pada pengujian *charge-discharge* ini seharusnya menggunakan alat uji EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*), karena dengan menggunakan alat uji EIS nilai yang muncul akan lebih akurat serta memperoleh gambar grafik yang lebih bagus. Serta waktu yang dibutuhkan saat pengujian lebih cepat daripada pengujian *charge-discharge* menggunakan adaptor untuk mendapatkan nilai tegangan dari sel aki.

### DAFTAR PUSTAKA

- Arakawa N, Maeda K, Moritoki M, Fukui K, Kuramochi H, Miki H. 2012. Novel Charge/Discharge Method for Lead Acid Battery by High-Pressure Crystallization. *Journal of Crystal Growth*. Vol 373: Hal 138-141.
- Barkah RD, Hidayat S. 2019. Simulasi Charge Discharge Model Baterai Lead Acid. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika/* Vol 3 (2): Hal 128–134. <https://doi.org/10.24198/jiif.v3i2.23257>
- Ghufron M, Istiroyah, Perwita CA, Pranata KB. 2017. Analisis Efisiensi Energi Flow Baterai Lead Acid Keadaan Statis dan Dinamis. *Jurnal ROTOR*. Vol 10: Hal 42–46.
- Gunita D. 2012. Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) Di Udara Dan Upaya Penghapusan Bensin Bertimbal. *Berita Dirgantara*. Vol 13 No 3: Hal 95-101
- Kosasih DP. 2018. Pengaruh Variasi Larutan Elektrolite Pada Accumulator Terhadap Arus dan Tegangan. *Mesa Jurnal Fakultas Teknik Universitas Subang*. Vol 2: Hal 33-44.
- Morgan T. 2014. Guide to charging Sealed Lead Acid batteries. Silvertel. Hal 1-4.
- Nasution SB. 2014. Analisa Kadar Timbal Pada Sayur Kubis (*Brassica Oleracea L.Var. Capitata L*) Yang Ditanam Di Pinggir Jalan Tanah Karo Berastagi. *Jurnal Ilmiah PANNMED*. Vol. 8 (3): Hal 291-298
- RGA Wills, D Pletcher, and FC Walsh. 2015. *Flow Batteries*. Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering. Hal 1-6. [doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.11639-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.11639-7)
- Rismansyah M, Nazir R. 2016. Pengaturan Keseimbangan Pengisian Dan Pengosongan Baterai Asam Timbal. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*. Vol 5 (2): Hal 192-197.
- Prasetyono E, Fathani AHA, Windarko NA. 2016. Sistem Pengisianbaterai (Sealed Lead Acid) SLA Menggunakan Interleaved Buck Converter Dengan Kapasitor Kopling Berbasis Mikrokontroler. *Prosiding Sentia 2016*. Vol 8: Hal 59-63
- Pranata KB, Sulistyanto MPT, 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 (1): Hal 42-47.
- Prisma A, Segara B, Riawan DC, Suryoatmojo H. 2013. Monitoring Kinerja Baterai Berbasis Timbal untuk Sistem Photovoltaic. *Jurnal Teknik POMITS*. Vol 1 (1): Hal 1–6.
- Segara APB, Riawan DC, Suryoatmojo H. 2013. Monitoring Kinerja Baterai Berbasis Timbal untuk Sistem Photovoltaic. *Jurnal Teknik POMITS*. Vol 1 (1): Hal 1-6
- Sullivan, Kevin R., 12-Volt Lead Acid Battery Basics. California : Skyline College <http://www.autoshop101.com/trainmodules/batteries/106.html>
- Wailanduw G. & Ladiono A. 2010. Efektivitas Aki Basah dan aki Kering Terhadap Beban Listrik pada Kendaraan Bermotor. *SINTA Indonesia*. Vol. 1.
- Wang Y, Chen Z. 2020. A framework for state-of-charge and remaining discharge time prediction using unscented particle filter. *Applied Energy*. Vol 260: Hal 1-10