

ANALISIS REGENERASI PASTA AKI BEKAS DENGAN VARIASI KONSENTRASI NaCl 20%, 30%, DAN 40% UNTUK MENGEMBALIKAN KEMAMPUAN PENYIMPANAN LISTRIK

Andre Arinanda Pratama

Teknik Mesin Manufaktur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: andrepratama1@mhs.unesa.ac.id

Tri Hartutuk Ningsih

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: triningsih@unesa.ac.id

Abstrak

Aki adalah alat yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang nantinya akan disimpan sebagai energi kimia. Di dalam aki terdapat pasta yang berbahan dasar timbal (Pb). Kerusakan pada aki salah satunya disebabkan timbulnya lapisan $PbSO_4$ pada aki dikarenakan adanya pencampuran dari bahan Pb dengan SO_4 seiring dengan penggunaannya. Variabel bebas dalam penelitian eksperimen ini adalah konsentrasi larutan NaCl sebagai pelarut $PbSO_4$ variasi konsentrasinya adalah sebesar 20%, 30%, dan 40%. Dalam penelitian ini akan didapatkan hasil berupa tegangan *charging*, tegangan hasil *charging*, pembebanan, tegangan pembebanan, arus pembebanan, dan waktu *charging*. Jenis aki yang digunakan dalam penelitian ini adalah aki motor merk Yuasa dengan kapasitas 5 Ah. Dari penelitian ini didapatkan hasil konsentrasi optimum NaCl untuk melarutkan $PbSO_4$ adalah konsentrasi NaCl 40% dengan hasil waktu pembebanan yang lebih lama yaitu 140,6 menit, sedangkan dengan konsentrasi 30% yaitu 133 menit dan konsentrasi 20% yaitu 120,3 menit. Kapasitas penyimpanan listrik mengalami kenaikan dimana spesimen tanpa perlakuan memiliki kapasitas penyimpanan sebesar 0,06 AH sedangkan spesimen dengan konsentrasi NaCl 20% sebesar 0,26 AH, konsentrasi NaCl 30% sebesar 0,37 AH, dan konsentrasi 40% sebesar 0,44 AH.

Kata Kunci : Regenerasi Aki, $PbSO_4$, NaCl, *Leaching*.

Abstract

Battery is a tool that serves to store electrical energy which will be stored as chemical energy. In the battery, there is a lead-based paste (Pb). The damage of battery caused by the onset of the $PbSO_4$ layer on the battery due to the mixing of Pb material with SO_4 along with its use. The independent variable in this experimental study is the concentration of NaCl solution as a $PbSO_4$ solvent. The variation in concentration of NaCl are 20%, 30%, and 40%. In this study, the results will be in the form of charging voltage, charging voltage outcome, burden, burden voltage, burden current, and charging time. The type of battery used in this study is the Yuasa motor battery with a capacity of 5 Ah (Ampere Hour). From this study the optimum concentration of NaCl to dissolve $PbSO_4$ was 40% NaCl concentration with the result of a longer burden time of 140.6 minutes, while the concentration of 30% was 133 minutes and the concentration of 20% was 120.3 minutes. Electricity storage capacity has increased where untreated specimens have a storage capacity of 0.06 AH while specimens with 20% NaCl concentration is 0.26 AH, 30% NaCl concentration is 0.37 AH, and 40% concentration is 0.44 AH.

Keywords: Regeneration of Battery, $PbSO_4$, NaCl, *Leaching*.

PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor adalah barang yang tidak dapat dipisahkan dengan kehidupan manusia dewasa ini, hampir semua aspek kehidupan membutuhkan kendaraan bermotor sebagai sarana transportasi. Hal tersebut yang mendasari perkembangan industri otomotif sangat meningkat pada saat ini dengan banyaknya permintaan di pasaran.

Aki adalah alat yang berfungsi untuk menyimpan energi khususnya energi listrik yang nantinya akan disimpan sebagai energi kimia. Fungsi utama dari penggunaan aki adalah sebagai *starting* kendaraan bermotor, sebagai penyimpan energi, sebagai pencahayaan atau lampu pada kendaraan bermotor dan

sebagai penggerak. Untuk usia pemakaian aki, biasanya *dealer* mobil yang memproduksi aki memberi garansi standar aki per 2 (dua) tahun atau per 50.000 km (kilometer) dan hal tersebut tergantung pemakaian dan perawatan dari pemilik kendaraan. Khusus untuk aki yang bukan bawaan dari kendaraan tersebut, biasanya produsen memberi garansi sekitar 6 (enam) bulan atau dalam jarak tempuh sejauh 25.000 km.

Penggunaan aki basah secara terus menerus juga akan menimbulkan beberapa kerugian contohnya adalah timbulnya kerusakan pada komponen di dalam aki. Di dalam aki terdapat grid atau pelat yang berbahan dasar timbal (Pb). Di sekitar grid ini dilapisi dengan pasta Pb yang dikelilingi oleh cairan H_2SO_4 . Kemudian, kerusakan pada aki salah satunya disebabkan timbulnya kerak

PbSO_4 pada permukaan grid dikarenakan adanya pencampuran dari bahan Pb dengan SO_4 seiring dengan penggunaannya. Kerak PbSO_4 tersebut akan memengaruhi kinerja baterai sehingga menyebabkan temperatur baterai tinggi, pengurangan elektrolit berlebih, dan pengurangan umur penggunaan aki yang biasanya bisa digunakan dalam waktu dua tahun hingga tiga tahun akan berkurang menjadi kurang lebih 1,5 (satu setengah) tahun saja. Dengan berkurangnya umur penggunaan aki, maka akan bertambah juga intensitas proses produksi dari aki beserta komponen-komponen khususnya grid yang terbuat dari timbal (Pb) yang tentunya akan menghasilkan limbah yang dapat merusak lingkungan. Pengolahan limbah dari produksi aki perlu diatur secara khusus agar tidak berdampak negatif, karena limbah dari timbal (Pb) termasuk bahan beracun berbahaya (B3).

Wiharja (2004) dalam penelitian yang berjudul “Kajian Teknologi Daur Ulang Timah dari Aki Bekas yang Ramah Lingkungan”. Dalam penelitian ini dijelaskan bahwa usaha daur ulang timah dari aki bekas memerlukan penataan agar tidak merusak lingkungan. Peralatan yang dipergunakan untuk daur ulang timah dari aki bekas adalah kupola (*furnace*) maupun elektrolisa. Dan untuk mengurangi dampak negatif maka debu harus diisolasi dengan menggunakan peralatan perangkat debu.

Daur ulang yang sekarang berkembang di Indonesia hanya berbentuk kubangan di dalam tanah dengan prinsip pencampuran arang dengan sel aki, kemudian arang dinyalakan dengan udara dari blower. Setelah itu sel logam yang mencair dipisahkan untuk dicetak. Untuk mengurangi dampak-dampak negatif dari daur ulang aki bekas maka perlu dilakukan proses daur ulang aki bekas yang lebih efisien, dengan mengambil logam timbal untuk dimanfaatkan dan kemampuan penyimpanan listriknya bisa diperbaiki kembali. Bayuseno (2009) meneliti tentang evaluasi proses daur ulang sel aki bekas serta kualitas produk timbal menyimpulkan bahwa tahanan listrik (R) yang terdapat pada logam timbal hasil daur ulang adalah $20,00 \times 10^{-6}$ Ohm atau 20,0 microohm.

Bayuseno, dkk. (2014) dalam penelitian yang berjudul “Daur Ulang Timbal (Pb) Dari Aki Bekas Dengan Menggunakan Metode Redoks” Pada penelitian ini didapatkan timbal hasil daur ulang sebesar 363,392 gram pada suhu peleburan 450°C , 392,122 gram pada suhu peleburan 500°C dan 385,642 gram pada suhu peleburan 550°C . Dengan temperatur peleburan yang lebih rendah, hal tersebut juga akan mengurangi dampak negatif hasil peleburan yang akan menimbulkan *fly ash* yang membahayakan area di sekitar *smelter*. Di dalam aki sendiri terdapat suatu reaksi kimia dimana logam Pb atau PbO akan bereaksi dengan H_2SO_4 yang terkandung didalamnya sehingga akan terbentuk PbSO_4 yang bersifat isolator dan akan mengurangi kemampuan penyimpanan listrik pada aki tersebut.

Barinaya, dan Rustandi (2013) meneliti tentang pelarutan lapisan timbal sulphat pada elektroda *lead acid battery* untuk memperbaiki kemampuan penyimpanan listrik dan menyimpulkan bahwa dengan adanya lapisan

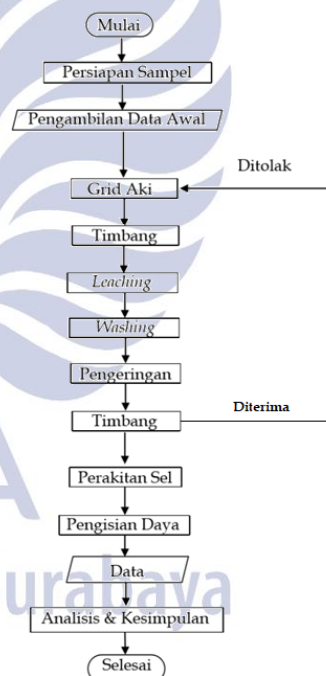
timbal sulfat pada elektroda aki menyebabkan terjadinya penurunan kemampuan penyimpanan listrik.

Proses reaksi kimia diatas termasuk proses reversibel dimana reaksi dapat dikembalikan pada reaksi asalnya. Untuk mewujudkan hal tersebut perlu sebuah larutan untuk membantu mengembalikan reaksi ke proses awal yaitu dengan menggunakan larutan NaCl.

Owais (2014) meneliti tentang *Direct Electrolytic Refining of Lead Acid Battery Sludge* dan menyimpulkan bahwa penambahan NaCl ke elektrolit memiliki efek positif pada semua parameter proses, karena peningkatan konduktivitas listrik elektrolit. Lapisan PbSO_4 akan dilarutkan dengan NaCl dan membuat reaksi kembali ke Pb atau PbO, sehingga timbal yang berfungsi sebagai elektroda pada aki dapat digunakan dan kemampuan penyimpanan listriknya dapat diperbaiki seperti aki baru serta kemampuan elektrokimia di dalam aki juga akan meningkat. Dalam pelarutannya atau proses *leaching*, diperlukan konsentrasi optimum NaCl untuk melarutkan PbSO_4 dalam proses daur ulang aki bekas ini, maka diperlukan penelitian tentang regenerasi aki bekas dengan variasi konsentrasi NaCl untuk mengembalikan kemampuan penyimpanan listrik.

METODE

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Variabel penelitian

- Variabel Bebas (*Independent Variable*)
Variabel bebas dalam penelitian eksperimen ini adalah konsentrasi larutan NaCl sebagai pelarut PbSO_4 . Variasi konsentrasinya adalah sebesar 20%, 30%, dan 40%.
- Variabel Terikat (*Dependent Variable*)
Variabel terikat dalam penelitian eksperimen ini adalah, tegangan *charging*, tegangan hasil *charging*,

pembebanan, tegangan pembebanan, arus pembebanan, dan waktu *charging*.

- Variabel Kontrol (*Control Variable*)
Variabel kontrol yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah tegangan awal, temperatur, volume cairan, massa sel aki dan waktu pengujian.

Alat, Bahan, dan Instrumen Penelitian

- Alat penelitian
Dalam penelitian ini alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - Magnetism Mixer
 - Magnet
 - Power Adaptor
 - Furnace
 - Obeng
- Bahan Penelitian
Dalam penelitian ini bahan-bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - Sel aki
 - Garam (NaCl)
 - Aquades
 - Larutan Elektrolit (H_2SO_4)
 - Lampu LED
- Instrumen Penelitian
Dalam penelitian instrumen yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - Multitester
 - Clamp Meter
 - Timbangan

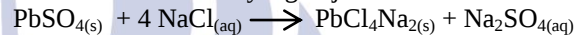
Prosedur Penelitian

- Persiapan Awal:
 - Menyiapkan alat dan bahan untuk pembuatan instrumen.
 - Membuat instrumen penelitian.
 - Melakukan perangkaian instrumen sesuai dengan skema rancangan.
 - Melakukan pengecekan alat dan bahan penelitian untuk dilakukan pengujian.
 - Menyiapkan lembar pengambilan data.
- Proses Pengambilan Data:
 - Menyiapkan aki dalam kondisi telah terpakai untuk diteliti
 - Membuka *case* aki dan mengambil sel aki untuk diteliti
 - Melakukan pengujian voltase pada sel untuk mengontrol voltase awal
 - Mengontrol voltase agar setiap sel memiliki voltase sama.
 - Menimbang sel aki untuk mengetahui massa awal
 - Setelah pengambilan data awal, melakukan proses *leaching* atau pelarutan pasta aki dengan NaCl di dalam wadah
 - Menyiapkan Magnetism Mixer dengan suhu $60^\circ C$ untuk melarutkan NaCl
 - Melakukan pengadukan NaCl di dalam Magnetism Mixer menggunakan magnet sampai larut
 - Setelah NaCl larut dalam aquades, mixer dimatikan dan suhu dijaga $60^\circ C$

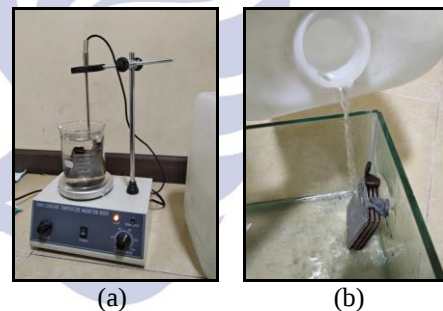
- Melakukan perendaman aki di dalam larutan NaCl selama 8 jam dengan suhu $60^\circ C$
- Melakukan proses pencucian atau *washing* dengan aquades
- Melakukan proses pengeringan dengan suhu $110^\circ C$ menggunakan furnace
- Menimbang grid kembali, untuk mengontrol massa
- Proses perakitan sel plus dan sel minus untuk pengujian dan pemberian beban lampu LED
- Meletakkan sel aki ke dalam larutan elektrolit atau H_2SO_4
- Melakukan pengujian *charging-discharging* pada sel aki menggunakan *power adaptor*
- Pengambilan data akhir dan mengisi tabel data 1 menggunakan multitester dan *clamp ampere*
- Selesai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, proses *leaching* menggunakan larutan NaCl untuk merendam timbal sulfat atau $PbSO_4$. Berikut adalah reaksi yang terjadi:



Kemudian spesimen akan dicuci atau proses *washing* dengan air murni (aquades). Berikut adalah reaksi yang terjadi:



(a)

(b)

Gambar 2. (a) Proses Leaching dengan Larutan NaCl, (b) Proses Washing dengan Aquades

Larutan NaCl yang dipakai untuk proses *leaching* sebelumnya sudah dilarutkan dengan aquades 400 ml menggunakan magnetik stirrer. Dalam penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi sebesar 20%, 30%, dan 40%. Berikut adalah perhitungan yang digunakan untuk melarutkan NaCl dengan aquades:

- Konsentrasi 20%
 $m = \% NaCl \times \text{volume air}$
 $= 20\% \times 400 \text{ ml}$
 $= 80 \text{ ml} = 80 \text{ gr}$
- Konsentrasi 30%
 $m = \% NaCl \times \text{volume air}$
 $= 30\% \times 400 \text{ ml}$
 $= 120 \text{ ml} = 120 \text{ gr}$
- Konsentrasi 40%
 $m = \% NaCl \times \text{volume air}$
 $= 40\% \times 400 \text{ ml}$
 $= 160 \text{ ml} = 160 \text{ gr}$
- Data Charging

Proses *charging* menggunakan power adaptor dengan setting tegangan sebesar 3 volt. Data hasil *charging* meliputi kenaikan tegangan dan arus terhadap waktu *charging* dan data pengujian kondisi aki akhir yaitu kondisi setelah dilakukan proses *leaching* terhadap timbal sulfat. Dalam proses ini juga diberi sebuah beban yaitu Lampu LED dioda sebesar 2 watt.

Tabel 1. Hasil Pengujian Charging Setelah Proses Leaching

Data Pengujian Charging Discharging								
No.	Konsentrasi	Tegangan Awal (V)	Tegangan Charging (V)	Tegangan Hasil Charging (V)	Beban (Watt)	Arus Pembebanan (A)	Tegangan Setelah Pembebanan (V)	Waktu (Menit)
1	20%	0,36	2,02	1,97	1	0,13	1,4	122
2		0,36	2,02	1,92	1	0,12	1,45	118
3		0,36	2,02	1,92	1	0,15	1,36	121
Rata-rata		0,36	2,02	1,94	1	0,13	1,40	120,3
1	30%	0,36	2,02	1,93	1	0,15	1,38	134
2		0,36	2,02	1,92	1	0,17	1,4	128
3		0,36	2,02	1,93	1	0,17	1,37	137
Rata-rata		0,36	2,02	1,93	1	0,16	1,38	133
1	40%	0,36	2,02	1,94	1	0,18	1,38	140
2		0,36	2,02	1,94	1	0,18	1,4	138
3		0,36	2,02	1,93	1	0,21	1,37	144
Rata-rata		0,36	2,02	1,94	1	0,19	1,38	140,6

- Kapasitas Penyimpanan Listrik
Dari data *charging discharging* tiap konsentrasinya akan diambil rata rata. Data yang diambil adalah arus pembebanan dan waktu untuk menemukan kapasitas penyimpanan listrik dalam *ampere hour* (AH). Berikut perhitungannya:

➤ Tanpa Perlakuan

$$AH = \frac{\text{Arus Pembebanan (A)} \times \text{Waktu pembebanan (menit)}}{60}$$

$$AH = 0,08 \times \frac{46}{60} = 0,06 \text{ AH}$$

➤ Konsentrasi NaCl 20%

$$AH = \frac{\text{Arus Pembebanan (A)} \times \text{Waktu pembebanan (menit)}}{60}$$

$$AH = 0,13 \times \frac{120,3}{60} = 0,26 \text{ AH}$$

➤ Konsentrasi NaCl 30%

$$AH = \frac{\text{Arus Pembebanan (A)} \times \text{Waktu pembebanan (menit)}}{60}$$

$$AH = 0,163 \times \frac{133}{60} = 0,37 \text{ AH}$$

➤ Konsentrasi NaCl 40%

$$AH = \frac{\text{Arus Pembebanan (A)} \times \text{Waktu pembebanan (menit)}}{60}$$

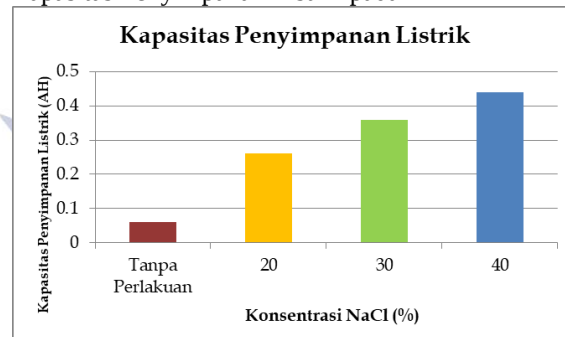
$$AH = 0,19 \times \frac{140,6}{60} = 0,44 \text{ AH}$$



Gambar 3. (a) Proses Charging, (b) Proses Pemberian Beban dengan Lampu LED

Analisis

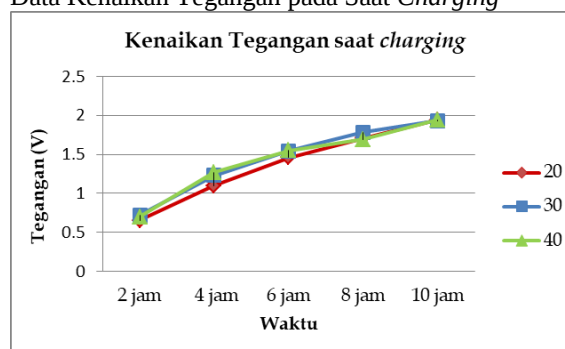
- Pengaruh Variasi Konsentrasi NaCl Terhadap Kapasitas Penyimpanan Listrik pada Aki



Gambar 4. Kapasitas Penyimpanan Listrik pada Aki Hasil Regenerasi

Gambar 4. menunjukkan grafik kapasitas penyimpanan listrik dari sel aki hasil regenerasi. Dari data di atas terdapat kenaikan seiring bertambahnya konsentrasi NaCl yang digunakan. Pada konsentrasi 20% menghasilkan 0,26 AH, pada konsentrasi 30% menghasilkan 0,36 AH, dan pada konsentrasi 40% menghasilkan 0,44 AH. Ketiga hasil tersebut juga lebih baik jika dibandingkan dengan sampel yang belum mendapat perlakuan yaitu sebesar 0,06 AH. Kenaikan tersebut dikarenakan semakin bertambah konsentrasi NaCl yang digunakan pada penelitian ini maka akan mempengaruhi kemampuan elektrokimia aki pada hal ini adalah waktu pembebanannya. Konsentrasi NaCl 40% memiliki kemampuan yang lebih tinggi karena menggunakan massa NaCl sebesar 160 gram yang mana mendekati nilai titik jenuh NaCl sebesar 140 gram yang dilarutkan didalam air bervolume 400 ml.

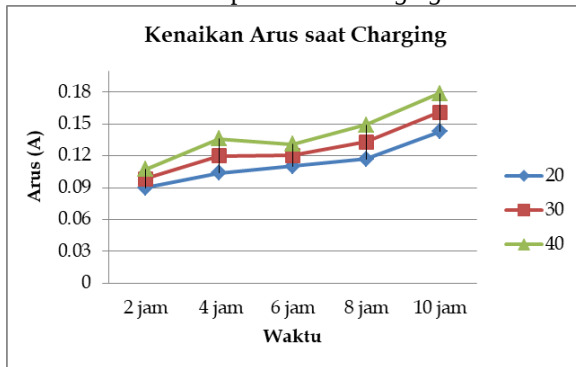
- Data Kenaikan Tegangan pada Saat Charging



Gambar 6. Kenaikan Tegangan Saat Charging

Gambar 6 menunjukkan grafik kenaikan tegangan pada saat *charging* sel aki hasil regenerasi. Dari data di atas dapat diketahui bahwa terjadi kenaikan tegangan tiap 2 jam pada saat proses *charging*. Dari setiap konsentrasi yang digunakan dalam penelitian ini kenaikan tegangannya juga tidak berbeda jauh. Nilai tegangan akhir juga hampir sama berada pada angka 1,93 V – 1,94 V. Kenaikan tiap 2 jam pada grafik di atas dikarenakan semakin lama waktu *charging* maka akan semakin bertambah kapasitas pada aki hingga akan stabil pada kapasitas maksimal satu sel aki sebesar kurang lebih 2 Volt.

- Data Kenaikan Arus pada Saat *Charging*



Gambar 5. Kenaikan Arus Saat *Charging*

Gambar 5. menunjukkan grafik kenaikan arus pada saat *charging* sel aki hasil regenerasi. Dari data di atas dapat diketahui bahwa terjadi kenaikan arus tiap 2 jam pada saat proses *charging*. Meskipun begitu ada sedikit tren arus yang mengalami *stuck* pada jam ke 4 s/d 6, hal tersebut karena ada gangguan sambungan *rectifier* dari *power adaptor*, penurunan arusnya pun juga terbilang kecil. Dari setiap konsentrasi yang digunakan dalam penelitian ini perubahan arusnya juga tidak berbeda jauh. Nilai akhir dari arus pada saat *charging* ini hanya memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 0,11 A pada konsentrasi 20%, 0,14 A pada konsentrasi 30%, dan 0,13 pada konsentrasi 40%.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada pasta aki mengenai pengaruh variasi konsentrasi NaCl 20%, 30%, dan 40% untuk mengembalikan kemampuan penyimpanan listrik, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- ❖ Dari tiga variasi konsentrasi yang dipakai dalam penelitian ini, semakin banyak konsentrasi NaCl yang digunakan maka semakin optimal kemampuan elektrokimianya. Dapat dilihat dari data kapasitas penyimpanan listrik mengalami kenaikan dimana sampel tanpa perlakuan memiliki kapasitas penyimpanan sebesar 0,06 AH sedangkan spesimen dengan konsentrasi NaCl 20% sebesar 0,26 AH, konsentrasi NaCl 30% sebesar 0,37 AH, dan konsentrasi 40% sebesar 0,44 AH. Dari data tersebut maka sel aki hasil *leaching* dengan konsentrasi 40%

adalah konsentrasi paling optimum karena memiliki kapasitas penyimpanan listrik lebih besar.

- ❖ Dari tiga variasi konsentrasi yang dipakai dalam penelitian ini, konsentrasi NaCl 40% mampu memberikan kemampuan elektrokimia yang lebih optimal dibandingkan dengan sel aki dengan konsentrasi NaCl 20% dan 30%. Terbukti dari lama waktu pembebanan pada konsentrasi 40% sebesar 140,6 menit, data tersebut lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi NaCl 20% 120,3 menit dan konsentrasi 30% 133 menit.

Saran

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan tentang proses regenerasi aki bekas dengan konsentrasi NaCl 20%, 30%, dan 40% untuk mengembalikan kemampuan penyimpanan listrik, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

- ❖ Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan bahan lain selain NaCl pada proses *leaching* untuk mengembalikan kemampuan penyimpanan listrik
- ❖ Perlunya kontrol parameter yang ada pada setiap sampel seperti pengukuran tegangan awal dan massa awal untuk memudahkan proses pengujian selanjutnya
- ❖ Perlunya ditambahkan variabel kontrol seperti temperatur pada proses *charging* dimana akan berpengaruh pada kapasitas penyimpanan aki
- ❖ Disarankan untuk penelitian menggunakan aki utuh dalam penelitian dengan mengontrol variabel dengan lebih baik seperti faktor massa pada sampel
- ❖ Disarankan untuk mencari langkah kerja daur ulang aki yang lebih ramah terhadap lingkungan untuk produksi skala menengah

DAFTAR PUSTAKA

- Barinaya, M. A. dan Rustandi, Andi. 2013. Pelarutan Lapisan Timbal Sulfat (PbSO₄) Pada Elektroda Lead Acid Battery Untuk Memperbaiki Kemampuan Penyimpanan Listrik. Depok: Universitas Indonesia.
- Bayuseno, dkk. 2014. Daur Ulang Timbal (Pb) Dari Aki Bekas Dengan Menggunakan Metode Redoks. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Bayuseno, A. P. 2009. Evaluasi Proses Daur Ulang Sel Accu Bekas Serta Kualitas Produk Timbal. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Budhikarjono, Kusno. 1996. "Diktat Kuliah Alat Industri Kimia", edisi pertama, pp. 99 – 101. Surabaya: Institut Sepuluh Nopember.
- Daryanto. 2001. Pengetahuan Baterai Mobil. Jakarta: Bumi Aksara.

- Daryanto. 2011. *Dasar-Dasar Kelistrikan Otomotif*. Jakarta: Prestasi Pustaka.
- Database Badan Pusat Statistik Indonesia. "Jumlah Pertumbuhan Kendaraan di Indonesia". Diakses 10 November 2016, dari <http://www.bps.go.id/>.
- Dieter, Gerorge E. 1987. *Metalurgi Mekanik*, Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga.
- Fagih, M. (2011, 5 April). Mengenal Accu Awet dan Panjang Umur. Republika. Diakses 12 Maret 2018, dari <http://www.batteryglobal.com/artikel.php@kat=1&id=2.html>.
- Linden, D. dan Reddy, T.B. 1995. *Handbook of Batteries Third Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Michael, Rudolf. (1995). *Pengisi baterai dan Akumulator*. Solo: Aneka.
- Owais, Ashour. 2014. *Direct Electrolytic Refining of Lead Acid Battery Sludge*. Egypt: Suez University.
- Pavlov, Detchko. 2011. *Lead-Acid Batteries: Science and Technology-A Handbook of Lead-Acid Battery Technology and its Influence on the Product*. Great Brittain: Elsevier.
- Purnawan. 2012. *Analisis Kuat Tekan dan Pelindian pada Pemanfaatan Limbah Slag Daur Ulang Aki Bekas Sebagai Bahan Substitusi Material Pasir Semen*. Yogyakarta: Institut Sains & Teknologi AKPRIND.
- Putra, H.P. 2010. *Studi Karakteristik Pelepasan Muatan Baterai Lead Acid Terhadap Variasi Beban RLC*. Depok: Program Strata Universitas Indonesia.
- Setiono, Iman. 2015. *Akumulator, Pemakaian dan Perawatannya*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sugiyono. 2014. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Tim Penyusun. 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi Program Sarjana Strata 1 Universitas Negeri Surabaya*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Vest, Heino. 2002. *Fundamentals of the Recycling of Lead-Acid Batteries*. Germany: Eschborn.
- Wiharja. 2004. *Kajian Teknologi Daur Ulang Timah dari Aki Bekas yang Ramah Lingkungan*. Jakarta: Penelitian Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan.
- Wilson, Brian. 2002. *The Removal of Sulfur in the Recycling of Used Lead Acid Batteries*. ILMC Program Manager: Central America.