

ANALISIS PROSES REGENERASI PASTA AKI BEKAS DENGAN VARIASI KADAR NaCl 50%, 60%, DAN 70% UNTUK MENGEMBALIKAN KEMAMPUAN PENYIMPANAN LISTRIK

Yudistira Atmin Lukito

Teknik Mesin Manufaktur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: yudistiralukito@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 fungsi utamanya untuk menyimpan energi listrik yang nantinya akan disimpan sebagai energi kimia, sebagai starting kendaraan bermotor, sebagai penyimpan energi, dan sebagai penggerak. Hingga saat ini aki yang banyak digunakan adalah jenis aki basah. Aki ini berisi air aki yang komposisinya adalah cairan asam sulfat (H_2SO_4). Penggunaan aki secara terus menerus dapat menyebabkan masa pakai aki dapat berkurang. Kerusakan pada aki disebabkan timbulnya lapisan $PbSO_4$ pada permukaan. Dalam penelitian ini variabel bebas menggunakan larutan NaCl sebagai pelarut $PbSO_4$ dengan variasi konsentrasi NaCl sebesar 50%, 60%, dan 70%. Tegangan charging, tegangan hasil charging, pembebanan, tegangan pembebanan, arus pembebanan, dan waktu charging akan di dapatkan dalam penelitian ini. 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 50% dengan hasil waktu pembebanan yang lebih lama sebesar 141 menit, sedangkan konsentrasi 60% yaitu 129 menit, dan konsentrasi 70% yaitu 114 menit.

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

Abstract

Battery is a tool whose main function is to store electrical energy which will be stored as chemical energy, as a starting motor vehicle, as an energy depository, and as a mobilizer. Until now the widely used battery is a type of wet battery. The battery contains a water-filled battery that is composed of sulfuric acid (H_2SO_4). Continuous use of the battery can lead to reduced battery life. Damage to the battery caused the $PbSO_4$ layer to surface. In this research the free variables use NaCl solution as solvent $PbSO_4$ with variations of NaCl concentrations of 50%, 60%, and 70%. Charging voltage, charging result voltage, loading, loading voltage, loading current, and charging time will be get in this research. The type of battery used in this research is a Yuasa motor battery with a capacity of 5 AH. From this research obtained the optimum concentration of NaCl to dissolve $PbSO_4$ is the concentration of NaCl 50% with the result of the time of the establishment of a longer of 141 minutes, while the concentration of 60% is 129 minutes, and the concentration of 70% is 114 minutes.

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

PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor adalah barang yang tidak dapat dipisahkan dengan kehidupan manusia, hampir semua aspek kehidupan membutuhkan kendaraan bermotor sebagai sarana transportasi. Hal tersebut yang mendasari perkembangan industri otomotif sangat meningkat saat ini dengan banyaknya permintaan pasar. Dalam perkembangannya, penggunaan kendaraan bermotor dari tahun ke tahun begitu meningkat, Hal ini dibuktikan dengan data yang diambil oleh Badan Pusat Statistik dari tahun 2009 sampai dengan 2012 di Propinsi Jawa Timur. Dimana pada kisaran tahun 2009 hingga 2012 tiap tahunnya terjadi peningkatan pengguna kendaraan bermotor mulai dari pengguna mobil, bus, truk, dan sepeda motor. Pada tahun 2009 berjumlah 9.802.397 unit, tahun 2010 dengan total 10.568.384 unit, di tahun 2011 sebanyak 11.846.189 unit dan meningkat di tahun 2012 dengan total 12.225.306 unit.

Meningkatnya industri otomotif ini secara tidak langsung juga mempengaruhi industri pembuatan komponen untuk kendaraan bermotor seperti aki yang berfungsi sebagai sumber energi listrik. 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.

Namun 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 massa pakainya. 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.

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. Dengan cara tersebut, debu logam berat akan berhamburan dan terjadi pencemaran di udara. Di sisi lain para pekerja daur ulang tersebut juga akan terkena dampaknya. Selain itu limbah pembuangan aki bekas yang membahayakan lingkungan sekitar juga dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan lain.

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. Haryanto (2015) dalam penelitiannya yang berjudul "Lead exposure from battery recycling in Indonesia" dijelaskan bahwa di Indonesia, lebih dari 200 wilayah smelter yang ilegal digunakan saat ini beroperasi. Hanya beberapa penelitian kesehatan yang mendukung temuan gejala dan penyakit yang berhubungan dengan timbal-balik di antara populasi yang tinggal di dekat smelter. Ditemukan bahwa banyak anak di daerah itu mengalami kesulitan mencapai nilai tinggi di sekolah dan mengalami gangguan kesehatan atau masalah lain dengan perkembangan fisik.

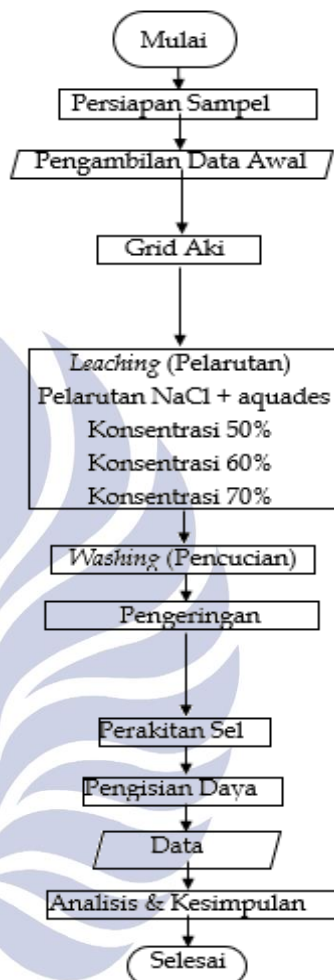
Barinaya dan Rustandi (2013) meneliti tentang pelarutan lapisan timbal sulfat pada elektroda lead acid battery untuk memperbaiki kemampuan penyimpanan listrik dan menyimpulkan bahwa dengan adanya lapisan timbal sulfat pada elektroda aki menyebabkan terjadinya penurunan kemampuan penyimpanan listrik. 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 tingkat konsentrasi larutan NaCl sebagai pelarut PbSO_4 . Variasi tingkat konsentrasi NaCl adalah sebesar 50%, 60%, dan 70%.
- **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
 - Lampu LED
- **Instrumen Penelitian**
Dalam penelitian instrumen yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - Gelas Ukur
 - 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.
 - Melakukan pengujian pada pasta aki untuk pengambilan data awal dan mengetahui komposisi yang ada pada sel aki.
 - 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°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°C.
 - Melakukan perendaman aki di dalam larutan NaCl selama 8 jam dengan suhu 60°C

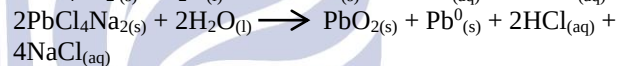
- Melakukan proses pencucian atau *washing* dengan aquades
- Melakukan proses pengeringan dengan suhu 110°C menggunakan *furnace*.
- Menimbang grid kembali, untuk mengontrol massa.
- Melakukan uji untuk mengontrol komposisi setelah proses *leaching* dengan NaCl.
- Proses perakitan sel plus dan sel minus untuk pengujian dan pemberian beban dengan lampu LED.
- Meletakkan sel aki ke dalam larutan elektrolit atau H₂SO₄.
- Melakukan pengujian *charging-discharging* pada sel aki menggunakan *power adaptor*.
- Pengambilan data akhir dan mengisi tabel data 3.2 menggunakan multitester dan clamp ampere
- Selesai.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, proses *leaching* menggunakan larutan NaCl untuk merendam timbal sulfat atau PbSO₄. Berikut adalah reaksi yang terjadi:



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



Larutan NaCl yang dipakai untuk proses *leaching* sebelumnya sudah dilarutkan dengan aquades 400 ml menggunakan magnetic stirrer. Dalam penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi sebesar 50%, 60%, dan 70%. Berikut adalah perhitungan yang digunakan untuk melarutkan NaCl dengan aquades:

- **Konsentrasi 50%**

$$m = \% \text{NaCl} \times \text{volume air}$$

$$= 50\% \times 400 \text{ ml}$$

$$= 200 \text{ ml} = 200 \text{ gr}$$
- **Konsentrasi 60%**

$$m = \% \text{NaCl} \times \text{volume air}$$

$$= 60\% \times 400 \text{ ml}$$

$$= 240 \text{ ml} = 240 \text{ gr}$$
- **Konsentrasi 70%**

$$m = \% \text{NaCl} \times \text{volume air}$$

$$= 70\% \times 400 \text{ ml}$$

$$= 280 \text{ ml} = 280 \text{ gr}$$

- **Data Charging**
Proses *charging* menggunakan power adaptor dengan setting tegangan sebesar 4,5 volt. Setelah itu dilakukan proses *discharging* dengan memberi beban lampu LED diode sebesar 1 watt kemudian data berupa tegangan dan arus keluar beserta waktu discharge nya. Berikut adalah data pengujian kondisi akhir sel aki:

Tabel 1. Data Pengujian *Charging-Discharging*

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	50%	0,36	2,02	1,94	1	0,31	1,38	144
2		0,36	2,02	1,93	1	0,31	1,41	139
3		0,36	2,02	1,94	1	0,31	1,37	140
1	60%	0,36	2,02	1,92	1	0,31	1,37	130
2		0,36	2,02	1,94	1	0,31	1,36	128
3		0,36	2,02	1,92	1	0,31	1,35	129
1	70%	0,36	2,02	1,93	1	0,31	1,36	115
2		0,36	2,02	1,92	1	0,31	1,35	117
3		0,36	2,02	1,92	1	0,31	1,33	110

- 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

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

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

- Konsentrasi NaCl 50%

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

$$AH = 0,31 \times \frac{141}{60} = 0,72 \text{ AH}$$

- Konsentrasi NaCl 60%

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

$$AH = 0,29 \times \frac{129}{60} = 0,62 \text{ AH}$$

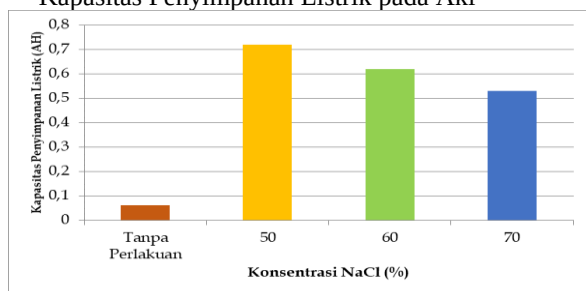
- Konsentrasi NaCl 70%

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

$$AH = 0,28 \times \frac{114}{60} = 0,53 \text{ AH}$$

Analisis

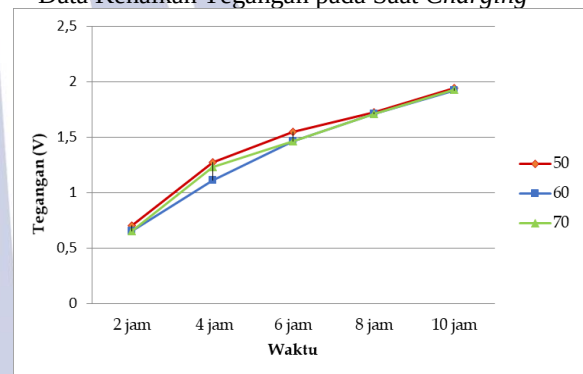
- Pengaruh Variasi Konsentrasi NaCl Terhadap Kapasitas Penyimpanan Listrik pada Aki



Gambar 2. Kapasitas Penyimpanan Listrik pada Aki Hasil Regenerasi

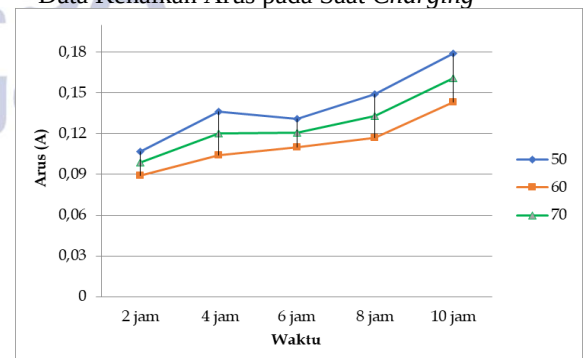
Gambar 2. menunjukkan grafik kapasitas penyimpanan listrik dari sel aki hasil regenerasi. Data diambil dengan cara hasil perkalian dari data rata – rata arus pembebanan dengan waktu pembebanan, hasil perkalian tersebut menghasilkan angka dalam satuan ampere hour (AH). Pada data diatas mengalami sedikit penurunan seiring bertambahnya konsentrasi NaCl yang digunakan. Pada konsentrasi 50% menghasilkan 0,72 AH, pada konsentrasi 60% menghasilkan 0,62%, dan pada konsentrasi 70% menghasilkan 0,53%. Ketiga hasil tersebut masih lebih baik dibandingkan dengan sampel yang belum mendapat perlakuan yaitu sebesar 0,01 AH. Hasil tersebut sangat kecil mengingat sampel yang diujikan hanya berupa satu sel aki saja dan beban yang diberikan terbilang kecil. Dari ketiga konsentrasi yang digunakan dalam penelitian ini terjadi penurunan dikarenakan larutan NaCl telah melewati titik jenuh NaCl sehingga mempengaruhi efisiensi adsorpsi.

- Data Kenaikan Tegangan pada Saat *Charging*

Gambar 3. Kenaikan Tegangan Saat *Charging*

Gambar 3. menunjukkan grafik kenaikan tegangan pada saat dilakukan proses charging. Pada data diatas terdapat kenaikan tegangan tiap 2 jam pada saat proses charging. Pada data ini setiap konsentrasi nilai kenaikan tegangannya tidak berbeda jauh. Nilai tegangan akhir juga hampir sama berada pada angka 1,93 V – 1,94 V.

- Data Kenaikan Arus pada Saat *Charging*

Gambar 4. Kenaikan Arus Saat *Charging*

Gambar 4. menunjukkan grafik kenaikan arus pada saat dilakukan proses charging. Pada data diatas terdapat kenaikan tegangan tiap 2 jam pada saat proses charging. Pada data diatas bahwa terjadi kenaikan arus tiap 2 jam pada saat proses charging, meskipun mengalami sedikit

penurunan pada jam ke 6 sampai dengan 6, hal tersebut disebabkan adanya gangguan pada sambungan *rectifier* dari power adaptor, penurunannya pun terbilang kecil. Pada data ini setiap konsentrasi nilai kenaikan arusnya tidak berbeda jauh. Nilai arus akhir juga hampir sama berada pada angka 0,14 A - 0,18 A.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada sel aki mengenai pengaruh variasi konsentrasi NaCl 50%, 60%, dan 70% untuk mengembalikan kemampuan penyimpanan listrik, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- ❖ Dari tiga variasi konsentrasi yang dipakai dalam penelitian ini, konsentrasi NaCl 50% mampu memberikan kemampuan elektrokimia yang lebih optimal dibandingkan dengan sel aki dengan konsentrasi NaCl 60% dan 70%. Terbukti dari lama waktu pembebanan pada konsentrasi 50% sebesar 141 menit, data tersebut lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi NaCl 60% 129 menit dan konsentrasi 70% 114 menit.
- ❖ Proses leaching larutan NaCl pada sel aki mempengaruhi voltase dan arus pada sel aki walaupun semakin bertambah variasi konsentrasi NaCl semakin menurun kapasitas penyimpanan listriknya. Kapasitas penyimpanan pada konsentrasi 50% adalah 0,72 AH, konsentrasi 60% adalah 0,62 AH, dan konsentrasi 70% adalah 0,53 AH, lebih besar jika dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan dengan kapasitas 0,06 AH.

Saran

Berdasarkan hasil pengujian pada sel aki mengenai pengaruh variasi konsentrasi NaCl 50%, 60%, dan 70% untuk mengembalikan kemampuan penyimpanan listrik, maka dapat diberi saran sebagai berikut:Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan bahan lain selain NaCl pada proses *leaching* untuk mengembalikan kemampuan penyimpanan listrik

- ❖ Sebaiknya menggunakan rentang konsentrasi yang lain atau lebih dikembangkan.
- ❖ Perlu adanya kajian lebih khusus pada proses regenerasi sel aki untuk mengembalikan kemampuan penyimpanan listrik atau kemampuan elektrokimia.
- ❖ Disarankan menggunakan aki utuh dalam melakukan penelitian dan mengontrol variabel dengan lebih baik.
- ❖ Disarankan untuk mencari langkah kerja daur ulang aki yang lebih ramah terhadap lingkungan untuk produksi skala menengah.
- ❖ Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan bahan lain selain NaCl pada proses *leaching*.

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, A. P., Umardani, Yusuf, dan Demas Yogo Pranoto 2014. Daur Ulang Timbal (Pb) Dari Aki Bekas Dengan Menggunakan Metode Redoks. 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 23 januari 2018, 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>.

Haryanto, Budi. 2015. *Lead exposure from battery recycling in Indonesia*. Depok: Universitas Indonesia.

Ma, Yunjian and Qiu Keqiang. 2015. *Recovery of Lead From Lead Paste in Spent Lead Acid Battery by Hydrometallurgical Desulfurization and Vacuum Thermal Reduction*. China: Elsevier.

Michael, Rudolf. 1995. Pengisi baterai dan Akumulator. Solo: Aneka.

Owais. 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.

