



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 141585

PENGARUH PENAMBAHAN KARBON PADA PASTA PELAT POSITIF TERHADAP SIKLUS HIDUP DAN KAPASITAS BATERAI *LEAD-ACID*

ANDRE DWI HANDOYO
NRP 2113 100 157

Dosen Pembimbing
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TM 141585

PENGARUH PENAMBAHAN KARBON PADA PASTA PELAT POSITIF TERHADAP KAPASITAS DAN SIKLUS HIDUP BATERAI *LEAD-ACID*

ANDRE DWI HANDOYO
NRP 2113 100 070

Dosen Pembimbing
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



FINAL PROJECT - TM 141585

EFFECTS OF CARBON ADDITIVES ON CAPACITY AND CYCLE LIFE OF POSITIVE PLATE PASTE OF LEAD- ACID BATTERY

ANDRE DWI HANDOYO
NRP 2113 100 070

Advisor
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018

**PENGARUH PENAMBAHAN KARBON PADA PASTA
PELAT POSITIF TERHADAP SIKLUS HIDUP DAN
KAPASITAS BATERAI *LEAD-ACID***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ANDRE DWI HANDOYO

NRP. 2113 100 157

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc (Pembimbing)
NIP. 196303141988031002
2. Suwarno, ST., MSc., Ph.D (Penguji I)
NIP. 198005202005011003
3. Ari Kurniawan Saputra, ST., MT. (Penguji II)
NIP. 198604012015041001

SURABAYA

JANUARI, 2018



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, oleh kasih karunia dan penyertaan-Nya penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Tugas akhir ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin FTI ITS. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Papa dan mama tercinta, serta keluarga Handoyo dan saudara yang selalu memberikan dukungan doa dan pertolongan yang tidak ternilai.
2. Bapak Ir. Witantyo, M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang membimbing penulis dengan penuh kesabaran.
3. Bapak Suwarno, ST.,MSc.,PhD, dan Bapak Ari Kurniawan, ST., selaku dosen penguji.
4. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu penulis atas pengetahuan dan pembelajaran yang telah diberikan.
5. Saptari yang selalu memberikan semangat, motivasi, dukungan, dan perhatian yang tidak ternilai.
6. Wahyu, Sela, Kevin, Marshall, Eva, Imel, Angie, Surya, Dina, dan Bimbim atas setiap dukungan, doa, dan motivasi untuk segera menyusul sebagai sarjana teknik.
7. Teman-teman GPT-HIM yang selalu menjadi berkat dan sukacita.
8. Samuel, Dion, dan Sumihar yang selalu memberikan warna dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir.
9. Teman-teman Laboratorium Rekayasa Sistem Industri dan Teknik Mesin angkatan 2013 (M56) yang telah berbagi pengalaman dan pengetahuan selama di bangku perkuliahan.

Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan maka penulis bersedia menerima kritik dan saran untuk penelitian yang lebih baik.

Surabaya 9 Januari 2018

Penulis

(halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGARUH PENAMBAHAN KARBON PADA PASTA PELAT POSITIF TERHADAP SIKLUS HIDUP DAN KAPASITAS BATERAI *LEAD-ACID*

Nama Mahasiswa : Andre Dwi Handoyo
NRP : 2113100157
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstrak

Peningkatan kapasitas dan umur siklus hidup baterai *lead-acid* mampu dicapai dengan berbagai cara, salah satunya dengan memberi aditif pada pelat. Salah satu aditif yang digunakan adalah karbon. Karbon dipercaya mampu meningkatkan konduktivitas pelat sehingga meningkatkan kapasitas baterai. Umumnya penambahan karbon dilakukan hanya pada pelat negatif. Namun penelitian Sugumaran dan tim mengungkapkan bahwa penambahan karbon pada kedua pelat mampu meningkatkan umur siklus hidup baterai lebih banyak dibandingkan dengan menambahkan karbon pada pelat negatif saja. Penelitian Sugumaran tidak membahas penambahan pada pelat positif. Oleh karena itu, Nurul melakukan penelitian tentang penambahan karbon pada pelat positif. Hasilnya, penambahan *acetylene black* mampu meningkatkan umur siklus hidup baterai, namun kapasitas baterai menurun. Penambahan karbon aktif dari tempurung kelapa tidak memberikan dampak yang berarti terhadap peningkatan kapasitas dan umur siklus hidup baterai.

Penelitian ini dilakukan sebagai usaha untuk menelaah pengaruh penambahan karbon pada pelat positif dan menemukan metode yang tepat guna meningkatkan kapasitas dan umur siklus hidup baterai *lead-acid*. Penelitian ini diawali dengan mencampur karbon dengan pasta pelat positif. Karbon yang digunakan sebagai aditif adalah *acetylene black* dan karbon aktif norit. Kedua karbon ini ditambahkan ke pasta pelat positif dengan persentase yang

berbeda lalu dibandingkan dengan pelat standar melalui pengujian. Masing-masing pelat akan diambil sampel sebagai spesimen untuk diuji menggunakan *8 Channel Battery Analyzer* dan *Cyclic Voltammetry* untuk mengetahui jumlah kapasitas dan umur siklus hidup baterai.

Hasil penelitian ini menyatakan bahwa pelat positif yang diberi *acetylene black* sebanyak 2% mampu meningkatkan umur siklus hidup pelat sebesar 2019% dari pelat standar. Penambahan *acetylene black* menyebabkan terjadi penurunan kapasitas pada baterai. Penambahan karbon aktif norit sebanyak 1,5% pada pelat positif mampu meningkatkan kapasitas sebanyak 71% berdasarkan pengujian *battery tester* dan 8% berdasarkan pengujian *cyclic voltammetry*. Namun demikian penambahan karbon aktif norit menyebabkan penurunan umur siklus hidup pada baterai.

Kata kunci : *Acetylene Black, Activated Carbon, Battery Analyzer, Capacity, Cycle Life, Cyclic Voltammetry, Lead-Acid Battery, Positive Plate.*

EFFECTS OF CARBON ADDITIVES ON CAPACITY AND CYCLE LIFE OF POSITIVE PLATE PASTE OF LEAD-ACID BATTERY

Student's Name : Andre Dwi Handoyo
NRP : 2113100157
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstract

Increasing capacity and cycle life of lead-acid batteries is able to be achieved in various ways, one of them by an additive on the plates. One of the additives used are carbon. Carbon is believed to increase the conductivity of the plate which increases the capacity of the battery. In general, the addition of carbon is applied on the negative plate only. However, Sugumaran and team revealed that the addition of carbon on both plates improves more battery cycle life than on the negative plate only. Sugumaran' research doesn't explain the carbon addition on positive plate. Therefore, Nurul did the research about carbon addition on positive plate. It results that addition of acetylene black was able to increase the cycle life of the battery, but decrease the battery's capacity. The addition of activated carbon from coconut shell doesn't provides a meaningful impact towards increasing capacity and cycle life of the battery.

This research was conducted in an attempt to know the effects of carbon addition on positive plate and to find the right method to increase capacity and cycle life of lead-acid batteries through the addition of carbon on the positive plate. This research begins by mixing carbon with positive plate paste. The carbons was used as an additive are *acetylene black* and activated carbon norit. Both carbons added to positive plate paste with different percentage, and then compared to standard plate through testing. Each plate will be sampled as a specimen to be tested using 8 Channel Battery

Analyzer and Cyclic Voltammetry to know the amount of their capacity and cycle life.

This research reveals that adding 2% acetylene black on positive plate increases cycle life of the battery by 2019%. Adding acetylene black decreases the battery capacity. Adding 1,5% norit activated carbon on positive plate increases the capacity of battery by 71% according to battery analyzer test and by 8% according to cyclic voltammetry. However, adding norit activated carbon on positive plate decreases the battery cycle life.

Keywords : *Acetylene Black, Activated Carbon, Battery Analyzer, Capacity, Cycle Life, Cyclic Voltammetry, Lead-Acid Battery, Positive Plate.*

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Abstrak	v
Abstract	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Baterai <i>Lead-Acid</i>	6
2.1.1. Reaksi Kimia Baterai <i>Lead-Acid</i>	6
2.1.2. <i>Charging</i> dan <i>Discharging</i> Pada Baterai <i>Lead-Acid</i>	11
2.1.3. Kapasitas Baterai <i>Lead-Acid</i>	13
2.1.4. Umur Siklus Baterai <i>Lead-Acid</i>	15
2.2. Kerusakan Pada Baterai <i>Lead-Acid</i>	16
2.2.1. Korosi Pada <i>Grid</i>	16
2.2.2. Degradasi Masa Aktif Elektroda Positif	18
2.2.3. Sulfitasi Pada Masa Aktif	19

2.2.4. Arus Pendek	20
2.3. Zat Aditif Pada Elektroda	21
2.3.1. Karbon	21
2.3.2. <i>Lignosulfonate</i>	22
2.4. <i>Cyclic Voltammetry</i>	23
2.5. Penelitian Terdahulu	23
2.5.1. Masalah yang Dibahas	23
2.5.2. Metode yang Digunakan	24
2.5.3. Hasil Penelitian	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1. Diagram Alir Penelitian	28
3.2. Melakukan Percobaan	29
3.2.1. Pembuatan Pasta	29
3.2.2. Proses <i>Pasting</i> Pada <i>Grid</i> Positif	30
3.2.3. Proses Pengujian 8 <i>Channel Battery Analyzer</i>	30
3.2.4. Proses Pengujian <i>Cyclic Voltammetry</i>	32
3.3. Metode Pengambilan Data	34
3.4. Skema Pengujian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Data Hasil Percobaan	35
4.2. Pembuatan Sel Baterai Sebagai Spesimen Uji	35
4.2.1. Pembuatan Sel Baterai Pelat Positif	
Ditambah <i>Acetylene Black</i>	36
4.2.2. Pembuatan Sel Baterai Pelat Positif	
Ditambah Karbon Aktif Norit	37

4.3. Pengujian Menggunakan 8 <i>Channel</i>	
<i>Battery Analyzer</i>	38
4.3.1. Hasil Pengujian Pelat Standar	39
4.3.2. Hasil Pengujian Pelat Positif Ditambah	
<i>Acetylene Black</i>	40
4.3.3. Hasil Pengujian Pelat Positif Diyambah	
Karbon Aktif Norit	43
4.4. Pengujian <i>Cyclic Voltammetry</i>	46
4.4.1. Hasil Pengujian Pelat Standar	46
4.4.2. Hasil Pengujian Pelat Positif	
Ditambah <i>Acetylene Black</i>	47
4.4.3. Hasil Pengujian Pelat Positif	
Ditambah Karbon Aktif Norit	49
4.5. Perbandingan Hasil Pengujian	51
4.6. Kegagalan Dalam Percobaan	52
4.6.1. Pasting Tidak Rata	52
4.6.2. Pasta Pelat Terlepas Sebagian	
Saat Pematangan	52
4.6.3. <i>Voltammogram</i> Tidak Tepat	53
BAB V PENUTUP	54
5.1. Kesimpulan	54
5.2. Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Susunan satu sel baterai <i>lead-acid</i>	6
Gambar 2.2	Reaksi elektrokimia	9
Gambar 2.3	Reaksi elektrokimia	9
Gambar 2.4	Kurva tegangan <i>idscharge</i> untuk baterai SLI 12 volt pada temperatur 25 °C	12
Gambar 2.5	Kurva tegangan <i>charge</i> baterai untuk tiga kedalaman <i>discharge</i> berbeda	13
Gambar 2.6	Kurva kapasitas baterai terhadap laju <i>discharge</i> yang bervariasi	14
Gambar 2.7	Kurva kapasitas <i>discharge</i> terhadap jumlah siklus baterai	15
Gambar 2.8	Korosi pada pelat positif baterai SLI mobil	17
Gambar 2.9	Mekanisme stratifikasi asam pada baterai <i>lead-acid</i>	20
Gambar 2.10	Hasil pengujian ketiga spesimen	24
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	28
Gambar 3.2	Pengaturan kondisi pengujian <i>8 channel battery analyzer</i>	32
Gambar 3.3	Pengaturan kondisi pengujian <i>Metrohm</i> <i>Autolab Potensiostat Galvanostat</i>	33
Gambar 3.4	Skema pengujian baterai <i>lead-acid</i> menggunakan <i>8 channel battery analyzer</i>	34
Gambar 4.1	Susunan spesimen uji <i>8 channel</i> <i>battery analyzer</i>	38
Gambar 4.2	Kurva kapasitas <i>charge</i> dan <i>discharge</i> pelat positif standar	39
Gambar 4.3	Kurva arus dan tegangan pelat positif standar	40
Gambar 4.4	Kurva kapasitas <i>charge</i> dan <i>discharge</i> pelat positif dengan <i>acetylene black</i> 1,5%	41
Gambar 4.5	Kurva arus dan tegangan pelat positif dengan <i>acetylene black</i> 1,5%	41
Gambar 4.6	Kurva kapasitas <i>charge</i> dan <i>discharge</i> pelat positif dengan <i>acetylene black</i> 2%	42

Gambar 4.7	Kurva arus dan tegangan pelat positif dengan <i>acetylene black</i> 2%	43
Gambar 4.8	Kurva kapasitas <i>charge</i> dan <i>discharge</i> pelat positif dengan norit 1%	44
Gambar 4.9	Kurva arus dan tegangan pelat positif dengan norit 1%	44
Gambar 4.10	Kurva <i>charging</i> pelat positif dengan norit 1,5%	45
Gambar 4.11	Kurva arus dan tegangan pelat positif dengan norit 1,5%	45
Gambar 4.12	Grafik <i>cyclic voltammetric</i> pelat positif standar	47
Gambar 4.13	Grafik <i>cyclic voltammetric</i> pelat positif ditambah <i>acetylene black</i> 1,5%	48
Gambar 4.14	Grafik <i>cyclic voltammetric</i> pelat positif ditambah <i>acetylene black</i> 2%	49
Gambar 4.15	Grafik <i>cyclic voltammetric</i> pelat positif ditambah karbon aktif norit 1%	50
Gambar 4.16	Grafik <i>cyclic voltammetric</i> pelat positif ditambah karbon aktif norit 1,5%	51
Gambar 4.17	Kegagalan pengujian menggunakan <i>potensiostat</i>	53

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Komposisi kimia pasta pelat positif dan negatif	22
Tabel 4.2	Perbandingan hasil pengujian	51

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Selama lebih dari 150 tahun baterai *lead-acid* digunakan sebagai peralatan penyimpanan energi. Hingga sekarang baterai *lead-acid* digunakan sebagai salah satu pemasok daya listrik dalam bidang industri, otomotif atau transportasi, dan sebagainya. Permasalahan yang terjadi pada baterai *lead-acid* bervariasi, bergantung pada bagaimana baterai digunakan. Ketika baterai *lead-acid* digunakan sebagai suplai daya bebas gangguan (UPS), *starting-lighting-ignition* (SLI), dan kendaraan listrik, maka korosi pada *grid* positif dan melunaknya elektroda positif menjadi masalah utama.^[1-3] Material aktif elektroda positif yang tersusun atas partikel PbO_2 akan berubah menjadi timbal sulfat yang menyebabkan konduktifitas pada material aktif pelat menurun. Penurunan konduktifitas material aktif dikarenakan timbal sulfat bersifat konduktor yang buruk sehingga menghambat proses elektrokimia.^[1] Perubahan material aktif pelat menjadi timbal sulfat disebut dengan sulfitasi. Sulfitasi merupakan penyebab dari beberapa masalah pada baterai *lead-acid*, salah satunya pelunakan pada material aktif pelat. Sulfitasi menyebabkan baterai *lead-acid* tidak tahan lama atau cepat rusak. Selain itu, sulfitasi juga menyebabkan baterai *lead-acid* kehilangan kapasitasnya.^[1]

Salah satu cara untuk meningkatkan konduktifitas baterai adalah menambahkan karbon pada material aktif pelat.^[1,4] Karbon meningkatkan konduktifitas baterai dengan cara membentuk jaringan konduktif diantara kristal-kristal timbal sulfat.^[4] Penambahan karbon umumnya diterapkan pada elektroda negatif. Banyak penelitian yang mengatakan bahwa penambahan karbon pada elektroda negatif menyebabkan *cycle life* dan kapasitas baterai meningkat.

Tahun 1997, Shiomi dan timnya melakukan penelitian tentang efek karbon pada elektroda negatif terhadap kapasitas pada *cycle life* tertentu baterai VRLA.^[5] Penelitian ini menghasilkan

kesimpulan bahwa dengan ditambahkan sejumlah karbon pada elektroda negatif, maka akan terjadi peningkatan kapasitas pada *cycle life* tertentu. Hal ini berkaitan dengan lamanya baterai tersebut bisa digunakan. Selain itu, tahun 2017 Zhang dan timnya melakukan penelitian tentang desain elektroda *lead-carbon* untuk penyimpanan energi terbarukan.^[2] Penelitian ini menggunakan *activated carbon* komersial (YP-50F, Kuraray, Jepang) dan *activated carbon* dari sekam padi sebagai material yang digunakan pada *supercapacitor*. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa penggunaan karbon pada elektroda negatif meningkatkan kapasitas dan *cycle life* baterai. Penambahan *activated carbon* dari sekam padi memiliki dampak yang lebih baik terhadap kapasitas dan *cycle life* baterai dibandingkan dengan *activated karbon* komersial. Pavlov dan timnya juga melakukan penelitian tentang pengaruh karbon terhadap struktur material aktif negatif dan kinerja baterai *lead-acid*.^[6] Pavlov menggunakan *carbon black* dan karbon aktif sebagai bahan aditif pada elektroda negatif. Melalui penelitian ini, Pavlov menyimpulkan bahwa karbon meningkatkan *cycle life* dan kapasitas baterai *lead-acid*.

Sugumar dan timnya melakukan penelitian yang berbeda dari sebelumnya. Jika penelitian sebelumnya meneliti perilaku karbon pada elektroda negatif, Sugumar meneliti perilaku karbon pada kedua elektroda. Penelitian ini menyatakan bahwa penambahan *discrete carbon nanotube* pada elektroda positif meningkatkan *cycle life* dan kapasitas baterai.^[7] Penelitian yang dilakukan Sugumar bertujuan untuk mengetahui bagaimana perilaku karbon jika ditambahkan pada kedua elektroda dibandingkan hanya pada elektroda negatif. Hasilnya penambahan karbon pada kedua elektroda memberi dampak yang lebih baik terhadap *cycle life* baterai dibandingkan dengan pemberian karbon hanya pada elektroda negatif. Hasil penelitian Sugumar memberikan bukti bahwa peningkatan kapasitas dan *cycle life* baterai *lead-acid* tidak hanya diperoleh melalui modifikasi elektroda negatif saja, namun elektroda positif juga memiliki peran dalam meningkatkan kapasitas dan *cycle life* baterai *lead-acid*.

Pengaruh penambahan karbon pada elektroda positif saja perlu diteliti lebih lanjut guna memperoleh informasi perilaku karbon pada elektroda positif terhadap kapasitas dan *cycle life* baterai *lead-acid*. Oleh karena itu, Nurul melakukan percobaan penambahan karbon dengan metode pelapisan pada elektroda positif untuk meningkatkan *cycle life* dan kapasitas baterai *lead-acid*.^[8] Masing-masing elektroda positif dilapisi dengan *acetylene black* dan *activated carbon* dari tempurung kelapa. Pelapisan karbon ini dilakukan dengan cara memberi campuran perekat pada material *additive* yang kemudian dioleskan pada permukaan elektroda positif lalu diuji untuk diteliti seberapa besar kapasitas dan *cycle life* baterai yang terlapisi karbon pada elektroda positifnya. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa pelapisan dengan *acetylene black* meningkatkan *cycle life* namun kapasitas baterai cenderung lebih rendah dari pelat standar, sedangkan pelapisan dengan *activated carbon* menghasilkan kapasitas baterai yang cenderung konstan dibandingkan dengan pelat standar walaupun terjadi peningkatan pada *cycle life* baterai *lead-acid*. Hasil penelitian ini tidak seperti penelitian yang dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Terlihat bahwa penambahan karbon tidak banyak mempengaruhi kapasitas dan *cycle life* baterai. Hal ini terjadi karena diduga pori-pori material aktif pelat positif tertutup oleh perekat sehingga menghalangi difusi elektron pada proses elektrokimia.

Penambahan karbon dengan metode pelapisan yang dilakukan Nurul menunjukkan bahwa penambahan karbon pada elektroda positif tidak memberi pengaruh yang besar terhadap kapasitas dan *cycle life* baterai *lead-acid*. Hasil penelitian Nurul berbeda dengan hasil penelitian Sugumaran. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menemukan metode penambahan karbon pada pelat positif yang tepat sehingga meningkatkan kapasitas dan *cycle life* baterai. Jika penelitian Nurul menggunakan metode *coating* atau pelapisan pada permukaan elektroda positif, maka penelitian ini menggunakan metode pencampuran pasta atau menambahkan karbon pada pelat positif. Hal ini dilakukan sebagai upaya untuk

mengoptimalkan pengaruh penambahan karbon pada elektroda positif dengan menghilangkan penggunaan perekat yang digunakan pada penelitian sebelumnya. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode pencampuran karbon pada pasta elektroda positif yang tepat dan mudah untuk dilakukan.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana meningkatkan *cycle life* dan kapasitas baterai *lead-acid*.
2. Bagaimana pengaruh penambahan karbon pada pasta pelat positif terhadap *cycle life* dan kapasitas baterai *lead-acid*.
3. Bagaimana prosedur penambahan karbon yang tepat pada pasta pelat positif.

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini dilaksanakan dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Tegangan dan arus *charging* dan *discharging*, temperatur kerja, serta konsentrasi elektrolit yang digunakan sesuai dengan penggunaan pada umumnya.
2. Pelat negatif menggunakan pelat yang diambil dari baterai *lead-acid* standar.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui cara meningkatkan *cycle life* dan kapasitas baterai *lead-acid*.
2. Mengetahui pengaruh penambahan karbon pada pasta pelat positif terhadap *life cycle* dan kapasitas baterai *lead-acid*.
3. Menemukan prosedur penambahan karbon pada pelat positif yang efektif.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

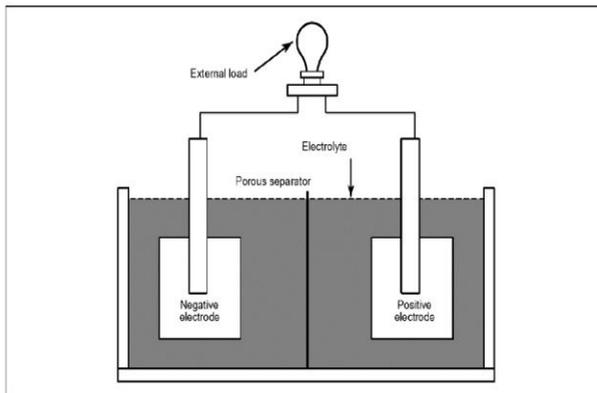
1. Dapat mengetahui pengaruh penambahan karbon pada pasta pelat positif terhadap *life cycle* dan kapasitas baterai *lead-acid*.
2. Dapat memberikan prosedur penambahan karbon pada pasta pelat positif.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi terkait landasan teori dan penjelasan tentang baterai *lead-acid* sebagai acuan penelitian ini. Acuan ini dimaksudkan untuk memperlancar jalannya penelitian ini serta mendapatkan hasil penelitian yang sesuai. Adapun acuan yang digunakan sebagai berikut.

2.1. Baterai *Lead-Acid*

Baterai adalah alat untuk menghimpun dan membangkitkan aliran listrik. Sebuah baterai terdiri dari dua sel atau lebih yang dihubungkan secara seri. Sebuah baterai mampu menghasilkan listrik dikarenakan adanya perbedaan tegangan potensial antara elektroda positif dan elektroda negatif. Pada gambar 2.1 menunjukkan susunan sebuah sel baterai *lead-acid*. Satu sel baterai *lead-acid* setidaknya memiliki empat komponen utama, antara lain: elektrolit, elektroda positif, elektroda negatif, dan sekat isolator.



Gambar 2.1 Skema susunan satu sel baterai *lead-acid*.

Mekanisme pengisian ulang baterai *lead-acid* adalah melalui elektrolitnya. Elektrolit merupakan salah satu komponen utama

pada sebuah sel baterai *lead-acid*. Elektrolit yang digunakan pada baterai *lead-acid* adalah asam sulfat (H_2SO_4). Elektrolit berfungsi sebagai penyedia ion bagi elektroda positif dan elektroda negatif. Oleh karena itu jika ion pada elektrolit habis, maka baterai tidak mampu menghasilkan listrik. Pada baterai *lead-acid* dengan elektrolit berupa larutan, habisnya ion pada elektrolit ditandai dengan volume elektrolit yang menipis. Penambahan volume elektrolit merupakan cara untuk mengatasi masalah tersebut. Pada baterai *lead-acid* dengan elektrolit berupa pasta, penyetruman yang dilakukan terhadap baterai merupakan salah satu cara untuk menambah jumlah ion pada elektrolit.

Komponen utama lainnya pada baterai *lead-acid*, yaitu elektroda negatif dan elektroda positif. Ketika baterai *lead-acid* dalam keadaan *fully charged*, elektroda negatif tersusun atas timbal (Pb) yang berbentuk menyerupai bunga karang, sedangkan elektroda positif tersusun atas timbal dioksida (PbO_2). Pada keadaan *discharge*, elektroda negatif melepaskan elektron yang kemudian ditangkap oleh elektroda positif. Elektron tersebut merupakan salah satu hasil (selain H^+) dari reaksi kimia antara timbal (Pb) dengan asam sulfat (H_2SO_4). Oleh karena elektroda positif menangkap elektron dari elektroda negatif, maka terjadi reaksi antara timbal dioksida (PbO_2) dengan asam sulfat (H_2SO_4). Reaksi ini menghasilkan timbal sulfat (PbSO_4) dan air (H_2O).^[1]

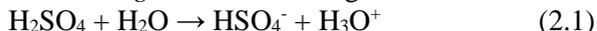
Diantara elektroda positif dan elektroda negatif, terdapat sekat atau pemisah yang berfungsi sebagai isolator.^[4] Jika terjadi kontak antara elektroda positif dan elektroda negatif maka terjadilah arus pendek. Arus pendek menyebabkan tegangan di elektroda positif dan elektroda negatif sama besar. Tipe isolator yang digunakan berbeda-beda berdasarkan tipe sel baterai. Material pembentuk isolator harus mampu dilalui oleh ion yang dialirkan dari elektrolit ke elektroda. Kebanyakan isolator terbuat dari plastik berongga atau *fiber glass*.^[4]

Sejak ditemukan oleh Gaston Planté tahun 1859, pengembangan baterai *lead-acid* hingga kini membuat baterai *lead-acid* diaplikasikan pada banyak perangkat. Pengembangan

yang dilakukan tentu meningkatkan kinerja serta kualitas baterai. Meskipun baterai *lithium ion* berkembang dengan pesat, keunggulan baterai *lead-acid* menjadi pertimbangan tersendiri untuk memilih menggunakan baterai *lead-acid*. Baterai *lead-acid* memiliki beberapa keunggulan, diantaranya: harga yang relatif murah, dapat didaur ulang, perawatan yang relatif mudah dan murah, mudah untuk diproduksi, efisiensi isi ulang yang cukup baik, tersedia dalam banyak varian, dan laju performa yang baik. Disamping keunggulan baterai *lead-acid* terdapat beberapa kekurangan yang penting untuk diperhatikan, diantaranya: densitas energi tergolong rendah, dalam kondisi *discharge* yang lama menyebabkan sulfitasi, mengandung arsenik (As) dan antimon (Sb) yang beracun, dan siklus hidup yang relatif singkat.^[4]

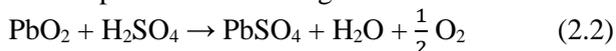
2.1.1. Reaksi Kimia Baterai *Lead-Acid*

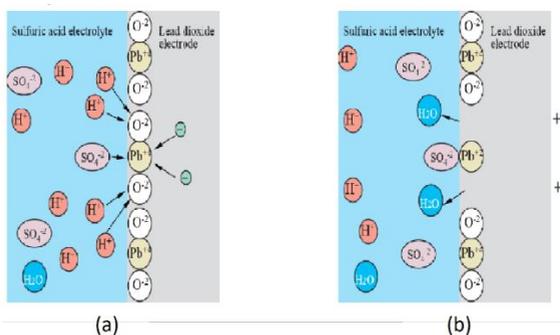
Pada dasarnya, reaksi kimia pada baterai *lead-acid* terjadi di elektrolit dan kedua elektroda. Pada elektrolit, persamaan reaksi kimia pada kondisi *discharge* dituliskan sebagai berikut^[9]



Reaksi pada persamaan 2.1 terjadi pada saat baterai digunakan. Ketika baterai *lead-acid* berada pada kondisi *charge* dan *discharge*, unsur hidrogen (H_2) pada asam sulfat bereaksi dengan air sehingga membentuk senyawa hidronium (H_3O^+). Senyawa ini membawa ion H^+ yang kemudian bereaksi dengan elektroda positif. Reaksi elektrokimia yang terjadi di elektroda positif ditunjukkan pada gambar 2.2 sedangkan di elektroda negatif ditunjukkan pada gambar 2.3.

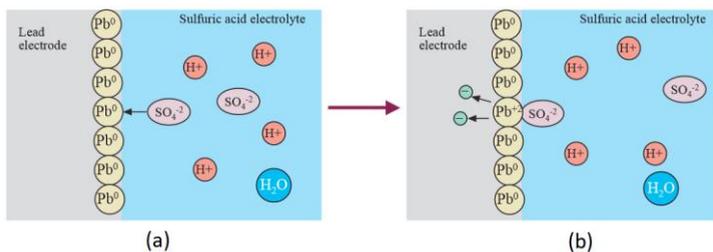
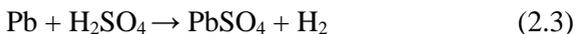
Pada elektroda positif, reaksi pada kondisi *discharge* yang terjadi melibatkan timbal dioksida (PbO_2) dengan asam sulfat (H_2SO_4). Reaksi ini dapat dituliskan sebagai berikut^[1,4,10]





Gambar 2.2 Reaksi elektrokimia (a) timbal bereaksi dengan sulfat dan oksigen bereaksi dengan hidrogen sehingga (b) terbentuk timbal sulfat dan air.

Ion sulfat (SO_4) dan hidrogen (H_2) mendekati molekul timbal dioksida (PbO_2) pada permukaan elektroda. Kemudian atom timbal mengubah ionisasi dan membentuk ikatan ion dengan ion sulfat. Proses ionisasi ini menyebabkan dua molekul air (H_2O) dilepaskan ke larutan elektrolit. Semakin banyak molekul air yang terbentuk menyebabkan baterai tidak mampu menghasilkan listrik karena timbal sulfat merupakan konduktor yang buruk dan konsentrasi elektrolit berkurang. Selain itu, pada elektroda negatif reaksi kimia pada kondisi *discharge* dapat ditulis dengan persamaan berikut^[1,4,10]



Gambar 2.3 Reaksi elektrokimia (a) timbal bereaksi dengan ion sulfat sehingga (b) melepaskan dua elektron ke dalam elektroda.

Gaya dipol menyebabkan ion sulfat mendekati permukaan elektroda kemudian atom timbal menjadi terionisasi dan membentuk ikatan ion dengan ion sulfat. Proses ionisasi ini menyebabkan dua elektron dilepaskan ke dalam elektroda timbal. Terakumulasinya elektron menyebabkan terbentuk medan listrik dan menarik ion hidrogen namun menolak ion sulfat. Akibatnya ion hidrogen membentuk semacam layar yang membatasi atau menghalangi reaksi antara elektroda dengan elektrolit.

Secara keseluruhan reaksi elektrokimia yang terjadi pada baterai *lead-acid* dapat dituliskan sebagai berikut^[1,4]



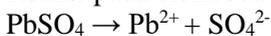
Pada kondisi *discharge*, timbal dioksida elektroda positif dan timbal elektroda negatif berubah menjadi timbal sulfat (PbSO_4) dan mengonsumsi ion sulfat yang menyebabkan berkurangnya berat jenis elektrolit sehingga berat jenis elektrolit mendekati berat jenis air. Elektroda positif berperan besar terhadap kinerja dan umur siklus baterai *lead-acid*, sedangkan elektroda negatif menentukan kinerja baterai pada temperatur rendah.^[4]

Proses elektrokimia baterai *lead-acid* pada kondisi *charge* melibatkan reaksi antara timbal dioksida (PbO_2) pada elektroda positif dan timbal (Pb) pada elektroda negatif dengan elektrolit asam sulfat (H_2SO_4). Reaksi kimia pada kondisi *charge* menggunakan sebagian besar arus yang didapatkan namun tidak mengubah seluruh timbal sulfat (PbSO_4) menjadi timbal (Pb) atau timbal dioksida (PbO_2). Reaksi kimia pada kondisi *charge* dapat ditulis dituliskan pada persamaan dibawah ini.^[9]

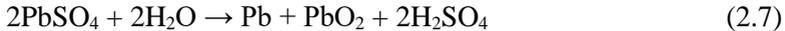
Reaksi pada elektroda positif



Reaksi pada elektroda negatif



Reaksi keseluruhan



Evolusi oksigen pada elektroda positif



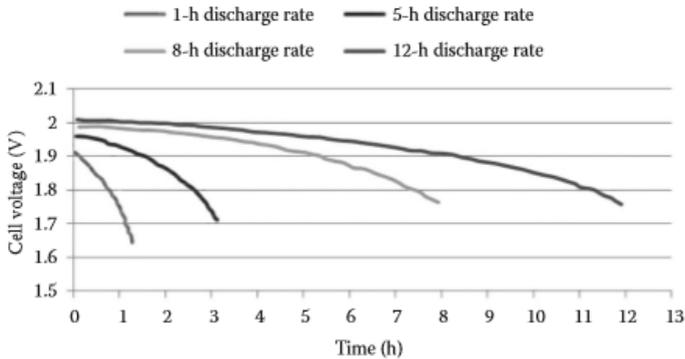
Evolusi oksigen pada elektroda negatif



Persamaan 2.5 dan 2.6 merupakan reaksi kebalikan dari persamaan 2.2 dan 2.3 atau dengan kata lain reaksi pada kondisi *charge* merupakan kebalikan dari reaksi pada kondisi *discharge*. Reaksi *charge* mengubah energi listrik menjadi energi kimia.

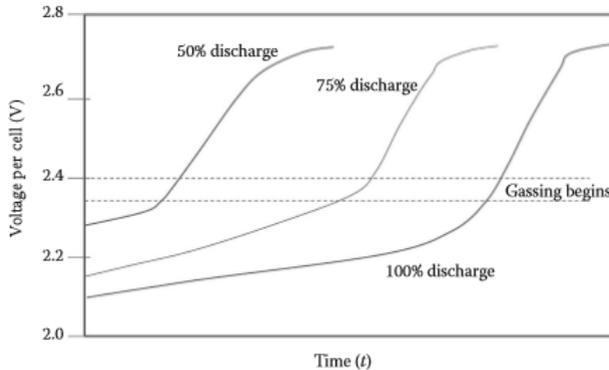
2.1.2. *Charging dan Discharging Pada Baterai Lead-Acid*

Kondisi *discharge* pada baterai adalah kondisi dimana baterai digunakan. Ketika digunakan dan dengan adanya beban eksternal, reaksi kimia *discharge* baterai mulai berjalan. Pada kondisi inilah, sulfatasi pada elektroda muncul. Hal ini disebabkan oleh ikatan ion antara timbal dan sulfat yang merupakan hasil dari reaksi elektrokimia. Ikatan ion antara timbal dengan sulfat menyebabkan ion sulfat pada elektrolit (H_2SO_4) menjadi semakin sedikit. Oleh karena itu semakin sering reaksi elektrokimia terjadi menyebabkan konsentrasi elektrolit semakin berkurang. Timbal sulfat (PbSO_4) merupakan salah satu hasil reaksi elektrokimia pada baterai *lead-acid*. Senyawa ini bersifat konduktor yang buruk sehingga konduktifitas elektroda semakin berkurang seiring bertambahnya senyawa timbal sulfat pada elektroda baterai *lead-acid*. Selain itu perbedaan tegangan potensial pada kedua elektroda menjadi semakin kecil seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kurva tegangan *discharge* untuk baterai SLI 12 volt pada temperatur 25 °C.^[4]

Pada kondisi *discharge*, tegangan masing-masing sel umumnya menurun dari 2,12 volt (pada rangkaian terbuka) ke 1,97 volt (pada rangkaian tertutup) kemudian meningkat kembali hingga mencapai 2 volt. Baterai tetap berada pada tegangan 2 volt selama beberapa waktu dan kemudian berkurang secara perlahan. Setelah mencapai 1,7 volt, terjadi penurunan tegangan secara drastis dalam waktu yang relatif singkat. Penurunan tegangan secara drastis ini disebut *knee*.^[4] Menurunnya beda potensial pada baterai disebabkan oleh konsentrasi elektrolit yang mengecil dan senyawa timbal sulfat yang terbentuk pada masing-masing elektroda. Terbentuknya senyawa timbal sulfat pada elektroda menunjukkan seberapa sering baterai berada pada kondisi *discharge* atau seberapa sering suatu baterai digunakan. Situasi ini berbanding terbalik dengan baterai pada kondisi *charge*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6 pada kondisi *charge* beda potensial baterai semakin besar seiring lamanya waktu *charge*.



Gambar 2.5 Kurva tegangan *charge* baterai untuk tiga kedalaman *discharge* berbeda.^[4]

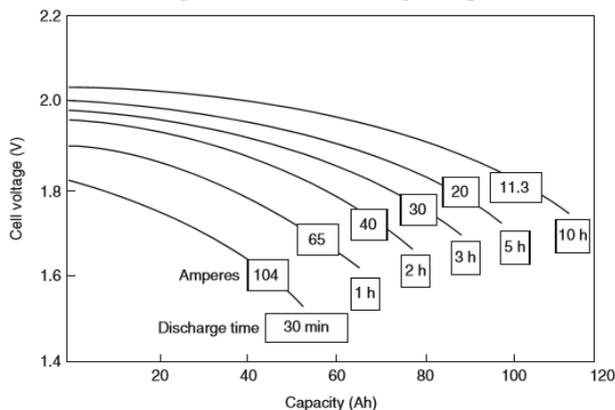
Pada kondisi *charging* dengan arus 0,1 ampere per ampere jam, tegangan evolusi gas bernilai 2,35 hingga 2,4 volt pada kondisi 75% *charge*. Titik ini sebagai batas efisien *charge*.^[4] Reaksi *charge* pada persamaan 2.5 dan 2.6 menunjukkan terjadinya pelepasan ikatan ion pada timbal sulfat. Pada elektroda positif timbal sulfat bereaksi menjadi timbal oksida, sedangkan pada elektroda negatif menjadi timbal. Seiring reaksi pada masing-masing elektroda yang mengubah timbal sulfat ke bentuk semula, konsentrasi elektrolit menjadi lebih besar. Hal ini menyebabkan perbedaan tegangan potensial masing-masing elektroda meningkat. Pada gambar 2.5 terdapat batas pada lamanya *charging*, yang disebut dengan *gassing voltage*. Kondisi ini merupakan batas lamanya *charging* yang diijinkan, jika melewati batas ini maka akan menyebabkan kerusakan pada baterai. Hal ini disebabkan oleh terjadinya elektrolisis air yang menyebabkan baterai melepaskan sejumlah gas.

2.1.3. Kapasitas Baterai *Lead-Acid*

Umumnya, kapasitas sel baterai dinyatakan dalam satuan ampere jam (Ah). Ampere merupakan satuan ukuran yang digunakan untuk menyatakan besar arus listrik. Kapasitas suatu sel

atau baterai berhubungan dengan kuantitas material aktif yang terkandung dan banyaknya elektrolit serta luas permukaan pelat. Selain itu, kapasitas baterai juga ditentukan oleh beberapa parameter lainnya. Parameter yang menentukan kapasitas baterai dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu: parameter eksternal dan internal.^[11] Parameter eksternal meliputi arus *charge-discharge*, tegangan, temperatur, dan konsentrasi asam. Parameter internal meliputi ketidakmurnian pada timbal oksida, desain *grid*, teknik *pasting*, rute *curing*, dan sifat fisis kimia (contoh: luas spesifik permukaan, porositas, dan fase komposisi) material pembentuk pelat.

Kapasitas suatu baterai diukur dengan cara menggunakannya pada arus konstan hingga mencapai tegangan terminal. Faktor yang mempengaruhi kapasitas baterai, antara lain desain sel baterai, sejarah siklus hidup baterai, umur baterai, perawatan baterai, dan temperatur baterai. Kapasitas baterai bervariasi terhadap laju *discharge*. Semakin tinggi laju *discharge*, maka semakin rendah kapasitas baterai.^[4] Pengaruh laju *discharge* baterai terhadap kapasitas baterai ditunjukkan oleh kurva pada gambar 2.6.

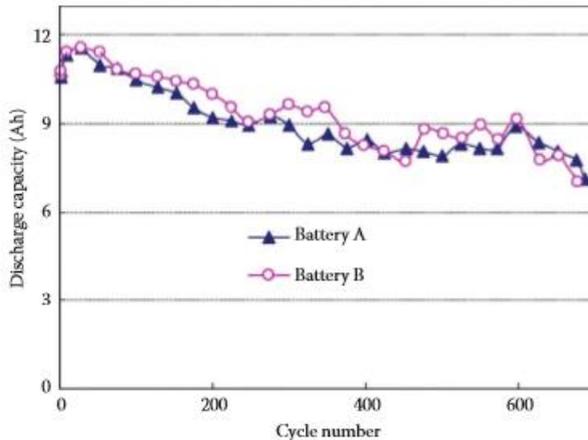


Gambar 2.6 Kurva kapasitas baterai terhadap laju *discharge* yang bervariasi.^[12]

Kapasitas baterai yang mampu dicapai bergantung pada laju *discharge*, sebagai contoh diperoleh jumlah kapasitas baterai dari laju *discharge* sebesar 30 menit lebih besar dibandingkan dengan laju *discharge* sebesar 10 jam.

2.1.4. Umur Siklus Baterai *Lead-Acid*

Kinerja baterai *lead-acid* menurun seiring dengan meningkatnya jumlah siklusnya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Hal yang membuat kinerja baterai *lead-acid* menurun antara lain: korosi pada elektroda, berkurangnya massa aktif elektroda positif, terbentuknya timbal sulfat pada elektroda, arus pendek, dan berkurangnya air. Laju degradasi



Gambar 2.7 Kurva kapasitas *discharge* terhadap jumlah siklus baterai.^[13]

siklus hidup baterai juga bergantung pada tipe baterai tersebut.^[13] Umumnya baterai SLI mengalami penuaan dengan adanya korosi pada *grid*, sedangkan baterai VRLA mengalami penuaan pada massa aktif negatifnya karena sulfitasi atau kehilangan air. Laju berkurangnya air disebabkan evaporasi atau evolusi hidrogen pada elektroda negatif. Degradasi pada elektroda negatif juga

bergantung pada konsentrasi asam karena korosi pada *grid* semakin cepat seiring kenaikan konsentrasi asam.^[1,4]

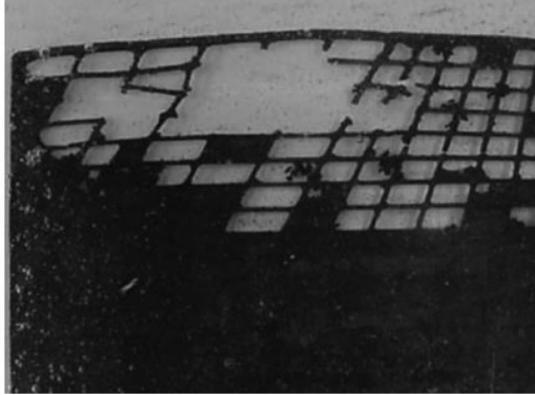
Siklus hidup bergantung pada banyak faktor, salah satunya pemanfaatan massa aktif selama *discharge*. Semakin tipis pelat, maka semakin sedikit pemanfaatan massa aktif dan siklus hidup semakin baik.^[13] Memperbesar massa jenis massa aktif akan mengurangi pemanfaatan massa aktif dan meningkatkan siklus hidup. Massa jenis massa aktif yang besar bisa didapat dengan menggunakan pasta dengan massa jenis yang tinggi dan dengan proses *curing* pada temperatur yang tinggi. Proses *curing* pada temperatur tinggi menghasilkan bentukan *tetra-basic lead sulfate*. Pemanfaatan massa aktif juga bisa dikurangi dengan membataasi jumlah larutan pada baterai.

2.2. Kerusakan Pada Baterai *Lead-Acid*

Beberapa mekanisme penuaan baterai berpengaruh terhadap penurunan kinerja baterai. Bagaimanapun juga setiap desain dan tipe baterai, biasanya memiliki salah satu jenis mekanisme penuaan baterai yang dominan sehingga menentukan umur penggunaan baterai tersebut. Berikut merupakan jenis-jenis mekanisme penuaan pada baterai *lead-acid*.

2.2.1. Korosi Pada *Grid*

Korosi pada *grid* merupakan mekanisme alami yang menyebabkan baterai tidak berfungsi. Kegagalan ini sering terjadi di elektroda positif. Sifat logam timbal tidak stabil sehingga korosi pada *grid* elektroda positif tidak bisa dihindari.^[13] Namun terjadinya korosi pada *grid* elektroda positif relatif lambat sehingga setidaknya ada cukup waktu untuk memanfaatkan baterai. Namun demikian korosi pada *grid* elektroda positif sering terjadi bahkan hingga menyebabkan kegagalan pada baterai. Pada baterai VRLA, temperatur dan tegangan *charging* mempengaruhi besarnya laju korosi.^[14] Gambar 2.8 menunjukkan korosi pada pelat positif baterai *lead-acid*.



Gambar 2.8 Korosi pada pelat positif baterai SLI mobil.^[13]

Mekanisme penuaan ini bersifat *irreversible* yang artinya hasil dari korosi ini tidak dapat dikembalikan ke bentuk semula. Volume *grid* bertambah seiring dengan banyaknya oksidasi timbal sehingga *grid* mengalami ekspansi ke segala arah. Membesarnya volume *grid* menyebabkan kerusakan pada material aktif karena tegangan yang dialami material, deformasi pada elektroda, dan kemungkinan terjadinya arus pendek setelah terjadi kebocoran pada sekat isolator atau terjadi kontak antara elektroda positif dan negatif. Selama kondisi *overcharged* reaksi kimia yang terjadi di masing-masing elektroda adalah sebagai berikut.^[13,15]

Reaksi pada elektroda positif



Reaksi pada elektroda negatif



Proses korosi dimana timbal (Pb) teroksidasi melalui reaksi dengan air (H_2O) merupakan salah satu penyebab hilangnya air selain elektrolisis. Reaksi tersebut menyebabkan berkurangnya jumlah air dan bertambahnya jumlah ion hidrogen. Kedua hal ini

menyebabkan tingkat keasaman disekitar elektroda positif meningkat sehingga mempercepat laju korosi.^[7,15] Sebaliknya, elektroda negatif mengalami efek pengenceran. Tidak bisa dipungkiri bahwa baterai akan kehilangan air selama digunakan, hal ini juga meningkatkan konsentrasi asam.

2.2.2. Degradasi Massa Aktif Elektroda Positif

Material yang paling penting yang ada pada pelat adalah material aktif dan *grid*. Umur hidup baterai dengan elektrolit berupa larutan umumnya bergantung pada pelat positif. Mula-mula pelat positif memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan tegangan mekanik yang disebabkan oleh perbedaan volume molar antara material aktif (PbO_2) dan hasil *discharge* (PbSO_4). Pada dasarnya struktur material aktif cenderung untuk berubah terhadap pengulangan siklus *charge/discharge*.^[16] Semakin banyak siklus, massa positif menjadi semakin lunak yang disebut sebagai *shedding* atau *sludging*.

Telah kita ketahui bahwa pelat positif bebas antimoni (Sb) lebih cepat terdegradasi dibandingkan dengan pelat yang mengandung antimoni.^[13] Hal ini terjadi karena antimoni akan tertahan di pelat positif dari bentuk hidrat antimoni oksida yang berperan seperti semen diantara partikel-partikel PbO_2 serta diantara massa aktif dan *grid* sehingga struktur PbO_2 menjadi lebih padat selama proses *recharge*. Bagaimanapun juga penambahan antimoni bukan solusi terbaik karena menurunkan sifat ketahanan terhadap korosi dan meningkatkan terjadinya *self-discharge*.

Kehilangan kapasitas secara prematur selama siklus berlangsung mungkin terjadi karena menurunnya kontak antara *grid* dan material aktif. Seiring berjalannya siklus, secara lambat massa aktif bergeser menjauhi *grid* atau menuju permukaan pelat sehingga meninggalkan ruang antara massa aktif dan *grid*. Hal ini menyebabkan larutan asam menempati ruang tersebut. Saat *discharge*, terbentuknya PbSO_4 menjadi penghalang bagi massa aktif sehingga kapasitas menurun. Penambahan timah (Sn) pada paduan *grid* meningkatkan kontak antara material aktif dan *grid*.^[17]

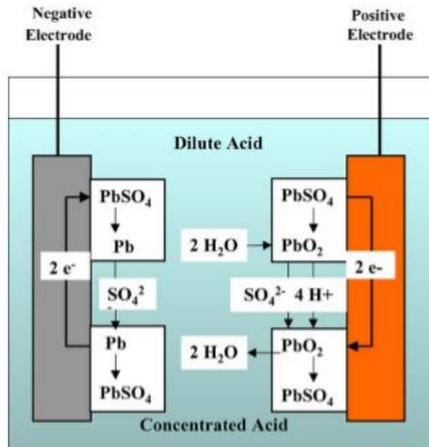
Degradasi massa aktif dapat dicegah dengan teknik *charging* atau isi ulang yang tepat. Mengisi ulang baterai pada arus yang tinggi memiliki dampak yang baik pada siklus hidup baterai.^[18] Selama isi ulang cepat atau *fast charge* berlangsung, sejumlah besar partikel timbal dioksida yang terbentuk bersifat lebih homogen. Semakin tinggi arus pada awal *charge* maka semakin banyak zona dengan konsentrasi padatan (sol) $\text{Pb}(\text{OH})_4$ yang terbentuk sehingga struktur mikro dan makro massa aktif positif menjadi optimal. Selain itu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi degradasi pada massa aktif positif adalah memanfaatkan tekanan mekanik.^[19] Selama *discharge*, tekanan pada permukaan menyebabkan permukaan elektroda terdorong kedalam sehingga kontak antara elektroda dan *grid* bisa dikembalikan pada kondisi awal. Selain itu, tekanan mekanik menyebabkan partikel-partikel timbal dioksida tertekan akan tetapi kembali pada posisi awal ketika terjadi pergeseran yang disebabkan oleh timbal sulfat selama *charge*.

2.2.3. Sulfitasi Pada Massa Aktif

Sulfitasi merupakan proses *irreversible* yang menyebabkan kristal timbal sulfat terbentuk di pelat elektroda baterai. Pada kondisi *discharge*, timbal sulfat berkembang hingga menutupi elektroda yang menyebabkan baterai kehilangan kapasitas. Sulfitasi terjadi bila baterai tidak diisi ulang dengan cukup atau jarang. Setidaknya dari waktu ke waktu, material aktif dikembalikan pada keadaan *charged* yaitu PbO_2 di elektroda positif dan Pb di elektroda negatif dengan tujuan menghindari sulfitasi. Baterai yang dipakai dalam waktu yang lama biasanya mengalami sulfitasi, khususnya pada temperatur yang tinggi.

Ada kemungkinan bahwa sulfitasi disebabkan oleh stratifikasi asam. Kondisi ini menyebabkan konsentrasi asam terbagi secara tidak merata, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.9. Bagian bawah elektroda berada pada konsentrasi asam tinggi, sedangkan bagian atas elektroda berada pada konsentrasi asam rendah. Berada pada kondisi ini, difusi potensial seharusnya berkembang diantara

bagian atas dan bawah.^[13] Difusi potensial menyebabkan terjadinya *discharge* pada bagian bawah elektroda dan *charge* pada bagian



Gambar 2.9 Mekanisme stratifikasi asam pada baterai *lead-acid*.^[13]

atas elektroda. Hal ini memperberat distribusi *charge* yang tidak seimbang antara bagian atas dan bawah. Pada *recharge* berikutnya, bagian atas elektroda lebih cepat mencapai kondisi *fully charge* dibandingkan bagian bawah elektroda dan akhirnya mungkin tidak mencapai kondisi tersebut.

Pada baterai VRLA, material aktif negatif bisa mengalami sulfitasi di tempat yang kurang basah oleh asam sulfat dan kurang terlindungi oleh polarisasi katodik. Lokasi tersebut mungkin menjadi tidak aktif. Kondisi yang sama terjadi juga pada elektrolit. Sel elektrolit dengan tingkat keasaman yang rendah tidak berfungsi lagi. Mengenai baterai *valve-regulated*, jika terjadi cacat pada segel atau katup sehingga oksigen pada atmosfer masuk, hal ini mengurangi terjadinya sulfitasi.

2.2.4. Arus Pendek

Arus pendek yang melewati sekat isolator merupakan akibat dari *deep discharge* yang berkepanjangan.^[13] Pada asam yang diencerkan, timbal sulfat cenderung mengendap di pori-pori sekat

isolator. Saat diisi ulang, timbal sulfat yang mengisi pori-pori sekat isolator menyebabkan *metallization* pada sekat isolator. Fenomena ini berhubungan dengan peningkatan daya larut timbal sulfat seiring dengan penurunan konsentrasi asam yang mendekati nol. Hal ini bisa dikurangi dengan menambah dinatrium sulfat (Na_2SO_4) pada elektrolit baterai. Sekat dengan pori-pori yang lebih besar cenderung lebih mudah mengalami *metallization* dibanding sekat berpori halus. Semakin tipis sekat isolator, maka semakin besar bahaya arus pendek.

2.3. Zat Aditif Pada Elektroda

2.3.1. Karbon

Pembentukan pelat positif membutuhkan waktu lebih banyak dibandingkan dengan pelat negatif. Hal ini disebabkan oleh perilaku dielektrik pasta positif setelah proses *curing*. Oksidasi pada campuran *bivalent* timbal pada pasta dan pembentukan massa aktif positif (PbO_2) melewati sejumlah reaksi kimia, beberapa diantaranya berlangsung lambat yang mana memperlama pembentukan pelat positif. Salah satu usaha mempercepat proses pembentukan tersebut yaitu menambahkan material ke dalam pasta positif yang dipilih berdasarkan sifat konduktivitas elektrik dan kestabilan terhadap asam sulfat. Bahan aditif tersebut membuat sebuah jaringan konduktif pada pasta dan proses oksidasi berlangsung sekaligus dalam sejumlah besar pasta sehingga mempercepat pembentukan pelat. Penambahan serat karbon atau serat grafit sebanyak 1,5% massa pada pasta mempercepat pembentukan pelat namun setengah dari banyaknya serat karbon atau grafit teroksidasi selama proses berlangsung. Hal ini menyebabkan peningkatan porositas massa aktif sehingga meningkatkan utilitas massa aktif positif.^[1] Pada kondisi *cycling*, karbon yang tersisa selanjutnya teroksidasi menjadi CO_2 dan seketika menghilang. Sebagaimana proses ini mengubah porositas massa aktif positif, karbon yang terkandung di pasta dianjurkan tidak terlalu tinggi sehingga oksidasi karbon tidak menurunkan kekuatan mekanik dari struktur massa aktif positif. Pavlov

merekomendasikan kandungan karbon pada pelat positif kurang lebih 1% massa.^[1]

Pelat yang mengandung partikel konduktif memiliki utilitas massa aktif positif lebih besar dibandingkan pelat tanpa partikel konduktif. Bagaimanapun juga perbedaan antara utilitas kedua pelat tersebut berkurang seiring dengan bertambahnya arus *discharge*. Hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya arus *discharge* membatasi kapasitas pelat. Pada laju *discharge* yang tinggi, utilitas massa aktif positif dibatasi oleh difusi ion yang mengalir pada pori-pori massa aktif positif. Oleh karena itu, pemilihan tipe dan jumlah bahan aditif pada pasta positif diharuskan mempertimbangkan laju *discharge*. Baterai yang digunakan pada arus *discharge* rendah diharuskan menggunakan pelat yang mengandung bahan aditif yang meningkatkan konduktivitas elektrik, sedangkan baterai yang digunakan pada arus *discharge* tinggi diharuskan menggunakan pelat yang mengandung bahan aditif yang memudahkan difusi ion pada pori-pori material aktif positif. Karbon *black* merupakan salah satu bahan aditif yang memudahkan oksidasi Pb menjadi PbO pada proses *curing* pelat. Selama pembentukan, hampir separuh bagiannya teroksidasi sehingga memperbesar pori-pori massa aktif positif. Kapasitas awal baterai meningkat 5% pada *discharge* dengan arus rendah atau 10% pada *discharge* dengan arus tinggi.^[1] Teroksidasinya karbon *black* menyebabkan stabilitas mekanik pada massa aktif positif menurun yang akhirnya memperpendek *cycle life* baterai.

2.3.2. Lignosulfonate

Setelah perang dunia kedua, *separator* pada baterai *lead-acid* yang semula terbuat dari kayu kemudian diganti dengan bahan sintesis menyebabkan kapasitas baterai secara drastis pada temperatur rendah. Setelah diteliti, ditemukan bahwa penyebab dari kejadian tersebut adalah tidak adanya asam *lignosulfonic* yang diperoleh dari *separator* berbahan kayu. Oleh karena itu disimpulkan bahwa sangat penting untuk menambahkan asam *lignosulfonic*.^[1] Banyaknya *lignosulfonate* yang ditambahkan pada

pasta negatif sebesar 1-1.5 wt% untuk baterai otomotif dan sekitar 2 wt% untuk industri. Penambahan *lignosulfonate* diperlukan untuk memperoleh daya keluaran yang tinggi pada temperatur rendah.^[1] Kemampuan *lignosulfonate* ini disebut dengan *cold-cranking ability*.

2.4. Cyclic Voltammetry

Cyclic voltammetry adalah salah satu teknik analisis proses elektrokimia. Teknik *cyclic voltammetry* menggunakan tegangan sebagai variabel untuk memperoleh arus. Pada percobaan ini digunakan teknik analisis *cyclic voltammetry* untuk mengetahui kapasitas spesimen uji. Hasil pengujian digambarkan pada sebuah grafik yang disebut dengan nama *voltammogram*. Pengujian ini menggunakan tiga elektroda, yaitu: elektroda referensi, elektroda kerja, dan elektroda pembalik.

2.5. Penelitian Terdahulu

2.5.1. Masalah yang Dibahas

Nurul melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh pelapisan karbon pada elektroda positif terhadap *cycle life* dan kapasitas baterai *lead-acid*.^[8] Penelitian ini menggunakan *acetylene black* dan *activated carbon* dari tempurung kelapa sebagai bahan aditif pada elektroda positif.

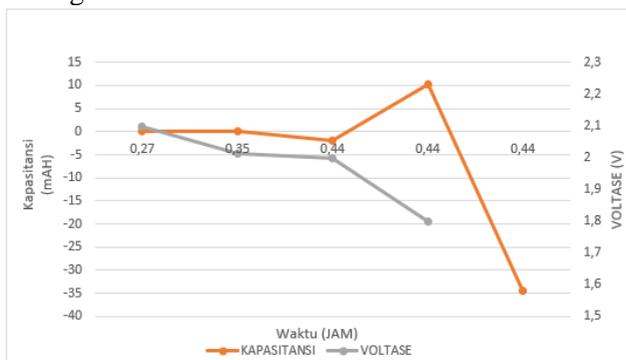
Elektroda yang digunakan adalah elektroda dari baterai NS60 dari PT Indobat Industri Permai. Alat yang digunakan untuk mengukur *cycle life* dan kapasitas baterai adalah *8 channel battery analyzer*. Hasil pengujian yang dicatat adalah banyaknya *cycle life* dan besarnya kapasitas baterai untuk elektroda standar dan elektroda yang dilapisi *acetylene black* dan *activated carbon* dari tempurung kelapa sehingga bisa disimpulkan apakah pelapisan *acetylene black* dan *activated carbon* dari tempurung kelapa meningkatkan *cycle life* dan kapasitas baterai dibandingkan dengan pelat standar (tanpa pelapisan).

2.5.2. Metode yang Digunakan

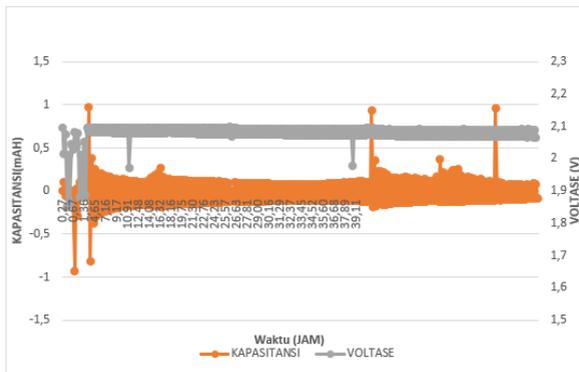
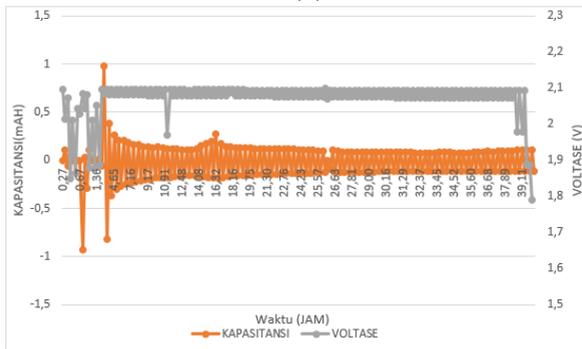
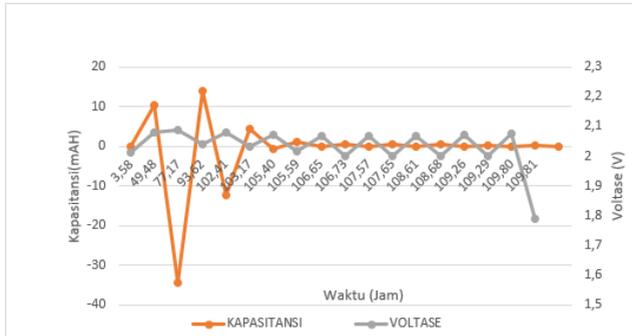
Penelitian ini menggunakan tiga buah spesimen, yaitu: pelat standar, pelat dilapisi *acetylene black*, dan pelat dilapisi *activated carbon* dari tempurung kelapa. Awalnya spesimen pelat standar diuji menggunakan *8 channel battery analyzer* untuk mendapatkan *cycle life* dan kapasitas sebagai referensi bagi spesimen selanjutnya. Kemudian pelat yang sudah dilapisi dengan *acetylene black* diuji menggunakan *8 channel battery analyzer* sehingga didapatkan data *cycle life* dan kapasitas baterai, demikian juga dengan pelat yang sudah dilapisi dengan *activated carbon* dari tempurung kelapa. Data hasil pengujian kedua spesimen dibandingkan dengan data spesimen pelat standar sehingga didapat kesimpulan pelapisan *acetylene black* dan *activated carbon* dari tempurung kelapa berpengaruh atau tidak berpengaruh terhadap *cycle life* dan kapasitas baterai.

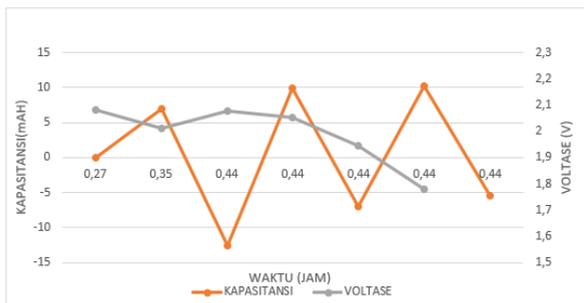
2.5.3. Hasil Penelitian

Hasil pengujian menggunakan *8 channel battery analyzer* adalah sebagai berikut.

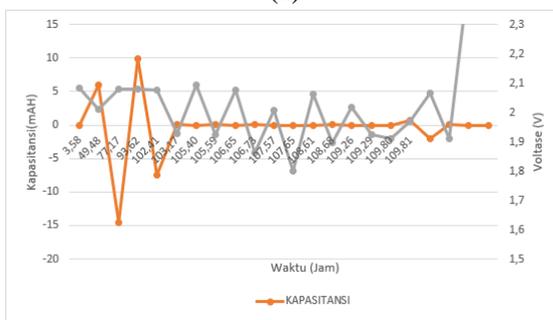


(a)





(e)



(f)

Gambar 2.10 Hasil pengujian ketiga spesimen yaitu pengujian (a) pertama dan (b) kedua untuk pelat standar, pengujian (c) pertama dan (d) kedua untuk pelat dilapisi *acetylene black*, dan pengujian (e) pertama dan (f) kedua untuk pelat dilapisi *activated carbon* dari tempurung kelapa^[19]

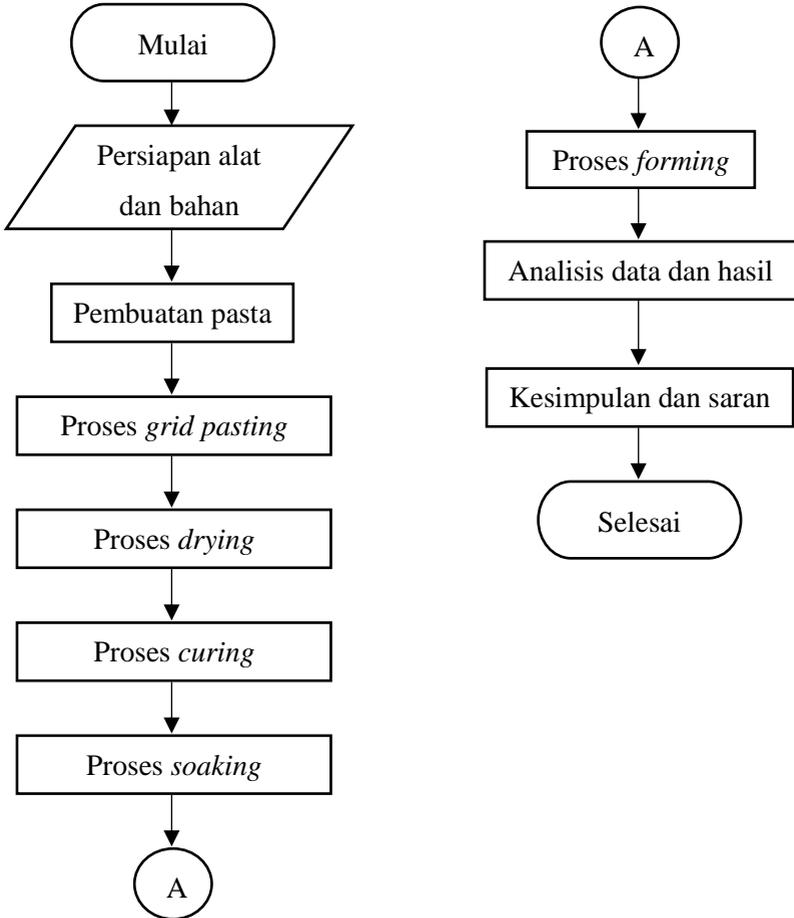
Data yang didapat digambarkan kedalam grafik. Gambar 2.10a merupakan hasil pengujian pelat standar namun terjadi *protect* karena tegangan melewati batas bawah pada pengaturan alat uji, sedangkan gambar 2.10b merupakan hasil pengujian pelat standar tanpa terjadi *protect*. Gambar 2.10c merupakan hasil pengujian pelat yang dilapisi *acetylene black* namun terjadi *protect* karena terjadi penurunan tegangan yang disebabkan oleh rendahnya konsentrasi asam sulfat. Gambar 2.10d merupakan hasil pengujian

pelat yang dilapisi *acetylene black* tanpa mengalami *protect*. Gambar 2.10e dan gambar 2.10f merupakan hasil pengujian pelat yang dilapisi *activated carbon* dari tempurung kelapa tanpa mengalami gangguan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Prosedur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

3.2. Melakukan Percobaan

Bahan penelitian ini terdiri dari *grid* positif dan pelat negatif dari PT. Indobat Industri Permai. Bahan aditif *acetylene black* didapatkan dari Jurusan Material Metalurgi FTI-ITS, sedangkan karbon aktif merupakan karbon aktif norit.

Proses yang dilakukan pada penelitian ini hanya terbatas hingga proses *mixing* dan *pasting* saja. Proses selanjutnya, seperti *drying*, *curing*, *soaking*, dan *forming* dilakukan oleh PT. Indobat Industri Permai. Hal ini dilakukan sebagai upaya untuk mencegah terjadinya kesalahan yang dilakukan oleh peneliti pada proses tersebut atau dengan kata lain sebagai upaya standarisasi proses pembuatan pasta. Selain itu hal ini dilakukan sebagai upaya untuk memperoleh hasil penelitian sesuai.

3.2.1. Pembuatan Pasta

Proses pembuatan pasta ini dilakukan sebagai upaya untuk membuat suatu campuran yang digunakan sebagai material aktif pelat positif, sedangkan elektroda negatif menggunakan pelat standar dari PT. Indobat Industri Permai. Proses pembuatan pasta pada penelitian ini dilakukan di PT Indobat Industri Permai. Hal ini dilakukan sebagai upaya untuk memudahkan pembuatan pasta dan sebagai upaya untuk standarisasi proses serta produk yang didapatkan. Berikut ini merupakan alat dan bahan yang digunakan selama proses pembuatan pasta.

1. Campuran pasta positif.
2. *Acetylene black* dan karbon aktif norit.
3. Air.

Prosedur pembuatan pasta dituliskan dalam tahapan-tahapan sebagai berikut.

1. Sebanyak 80,5 gram campuran pasta dimasukan kedalam sebuah plastik.
2. Karbon aktif norit sebanyak 1% dari berat pasta dihaluskan hingga berukuran 200 *mesh*.
3. Bubuk karbon aktif norit ditaburkan ke pasta.

4. Pasta dan bubuk karbon aktif dicampur dengan cara meremas-remas selama tiga menit hingga merata. Pencampuran dilakukan didalam air untuk menjaga suhu pasta tetap rendah.
5. Pasta dikeluarkan dari plastik dan siap diproses selanjutnya.
6. Langkah 1 hingga 5 diulangi dengan variasi karbon aktif norit 1,5% berat pasta, *acetylene black* 1,5% berat pasta, dan *acetylene black* 2% berat pasta.

3.2.2. Proses *Pasting* pada *Grid* Positif

Setelah pasta yang ditambah dengan *acetylene black* dan karbon aktif norit jadi dan siap digunakan, maka pasta tersebut dioleskan ke *grid* yang diperoleh dari PT. Indobat Industri Permai. Proses *pasting* dilakukan di PT Indobat Industri Permai. Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan selama proses *pasting* pada *grid*.

1. Pasta.
2. *Grid*.
3. Sekrap.
4. Kaca.

Prosedur *pasting* pada *grid* positif dituliskan dalam tahapan-tahapan sebagai berikut.

1. *Grid* diletakkan diatas kaca yang berada diatas bidang datar.
2. Pasta yang telah diberi aditif berupa karbon, dioleskan ke permukaan kedua sisi *grid*.
3. Pasta diratakan menggunakan sekrap. Usahakan tidak ada lubang kecil, baik di bagian dalam ataupun di permukaan.
4. Untuk memperoleh hasil yang lebih baik, *grid* yang telah diberi pasta dirol menggunakan mesin rol untuk meratakan pasta.
5. *Grid* sudah siap untuk diproses *curing*.

3.2.3. Proses Pengujian 8 Channel Battery Analyzer

Proses ini dilakukan sebagai upaya untuk mendapatkan data *cycle life* dan kapasitas satu sel baterai standar, satu sel baterai yang

ditambah karbon aktif norit, dan satu sel baterai yang ditambah *acetylene black*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Elektrokimia Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember menggunakan *8 Channel Battery Analyzer*. Pengujian menggunakan *8 channel battery analyzer* diperlukan *setup* alat tersebut untuk mengatur bagaimana kondisi alat tersebut bekerja. Pengaturan pada *8 channel battery analyzer* dilakukan seperti gambar 3.2. Selain itu alat dan bahan yang digunakan selama proses pengujian dituliskan sebagai berikut.

1. Pelat positif standar.
2. Pelat positif yang ditambah karbon aktif norit.
3. Pelat positif yang ditambah *acetylene black*.
4. Pelat negatif standar.
5. *8 Channel Battery Analyzer*.
6. Kuvet.
7. Larutan H_2SO_4 .
8. Benang nilon.
9. Penjepit buaya hitam dan merah.

Proses pengujian dituliskan dalam tahapan-tahapan sebagai berikut.

1. Plat positif dan negatif standar dilapisi lem epoksi pada salah satu sisi dan ditunggu hingga mengering.
2. Kertas separator diletakkan diantara kedua plat hingga berhimpit.
3. Kedua plat diikat berhimpit dengan menggunakan benang nylon dimana separator berada diantaranya.
4. Plat positif yang dilapisi karbon aktif arang batok kelapa dan plat negatif standar dimasukkan kedalam kuvet.
5. Plat positif dijepit dengan penjepit *battery analyzer* berwarna merah.
6. Plat negatif dijepit dengan penjepit *battery analyzer* berwarna hitam.
7. Larutan H_2SO_4 20% dimasukkan kedalam kuvet menggunakan pipet hingga kedua plat terendam.

8. Kuvet ditutup dengan karet.
9. Setup *battery analyzer* dengan cycle maksimal 9999.
10. Pengujian *charging* dan *discharging* dilakukan dengan *Battery Analyzer* untuk mengukur *cycle life* nya.

Step No	Step Name	Time(min)	Voltage(V)	Current(...)	Capacity(...)	-dV(mV)	Power(...)	Resista...	Jump...	Cycles	CurrStop(mA)
1	Rest	1									
2	C_Curr Disc...		1.9500	1.125							
3	Rest	1									
4	C_Curr Charge		2.1300	1.500							
5	Rest	1									
6	Cycle								1	999	
7	End										

The screenshot shows the software interface for configuring a test. Key sections include:

- Record condition:** Time: 5 Sec, Current: 0 mA, Voltage: 0 mV.
- Protect Param:** Hi Voltage: 2.3 V, Low Voltage: 1.8 V, Current Range: 0 mA.
- Base Information:** Creator: (empty), Batch No: 1, Memo: pos ab 1 - neg s (andre).
- Buttons:** Bak Setting, NDB Setting.

Gambar 3.2 Pengaturan kondisi pengujian 8 channel battery analyzer.

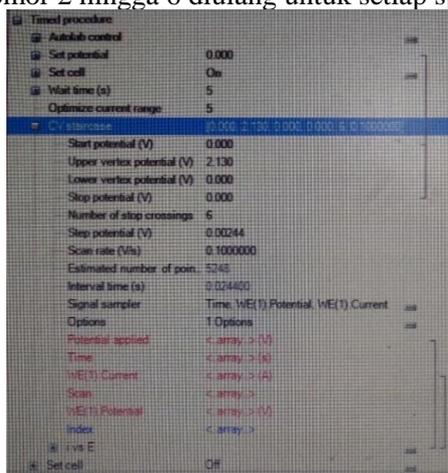
3.2.4. Proses Pengujian *Cyclic Voltammetric*

Proses ini dilakukan sebagai upaya untuk mendapatkan data perilaku arus pada satu sel baterai terhadap variasi tegangan. Data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan kapasitas satu sel baterai. Satu sel baterai atau spesimen yang digunakan pada pengujian ini yaitu: satu sel pelat standar, satu sel baterai yang pelat positif ditambah karbon aktif norit, dan satu sel baterai yang pelat positif ditambah *acetylene black*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Korosi Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember menggunakan *Metrohm Autolab Potensioostat Galvanostat*. Pengujian menggunakan *Metrohm Autolab Potensioostat Galvanostat* diperlukan pengaturan alat tersebut untuk mengatur bagaimana kondisi alat tersebut bekerja. Pengaturan pada *Metrohm Autolab Potensioostat Galvanostat* dilakukan seperti gambar 3.3. Selain itu alat dan bahan yang digunakan selama proses pengujian dituliskan sebagai berikut.

1. Pelat positif standar.
2. Pelat positif yang ditambah karbon aktif norit.
3. Pelat positif yang ditambah *acetylene black*.
4. *Grid* atau rangka pelat negatif standar.
5. Satu set *Metrohm Autolab Potensiostat Galvanostat*.
6. Larutan H_2SO_4 20%.

Proses pengujian dituliskan dalam tahapan-tahapan sebagai berikut.

1. *Metrohm Autolab Potensiostat Galvanostat* dikalibrasi untuk proses *cyclic voltammetric*.
2. Pelat positif dipasang pada *potensiostat* sebagai elektroda kerja. Rangka pelat negatif atau pelat negatif tanpa pasta dipasang pada *potensiostat* sebagai elektroda pembalik.
3. Larutan H_2SO_4 dituang ke gelas kaca.
4. Gelas kaca dipasangkan pada *potensiostat*.
5. Teknik analisis *cyclic voltammetric* dijalankan dengan pengaturan seperti pada gambar 3.3.
6. Sel dinyalakan dan analisis siap dijalankan.
7. Proses nomor 2 hingga 6 diulang untuk setiap spesimen.



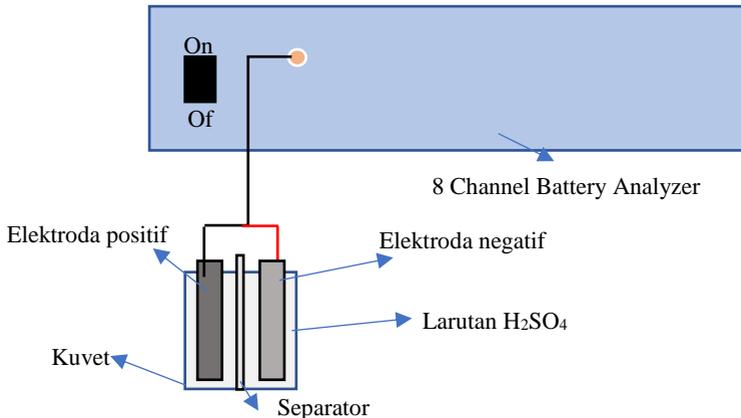
Gambar 3.3 Pengaturan kondisi pengujian *Metrohm Autolab Potensiostat Galvanostat*.

3.3. Metode Pengambilan Data

Pelat baterai diuji dengan siklus *charging-discharging* menggunakan *8 channel battery analyzer* dan menggunakan *potensiostat*. Alat ini secara otomatis merekam semua data yang diperoleh pada pengujian. Data tersebut kemudian diteruskan ke sebuah komputer yang dihubungkan dengan alat uji. Melalui semua data yang telah diperoleh, dilakukan analisis untuk memperoleh data berupa kapasitas dan umur siklus baterai.

3.4. Skema Pengujian

Pada gambar 3.4 disajikan skema pengujian satu sel baterai *lead-acid* menggunakan *8 channel battery analyzer*.



Gambar 3.4 Skema pengujian baterai *lead-acid* menggunakan *8 channel battery analyzer*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Percobaan

(Terlampir)

4.2. Pembuatan Sel Baterai Sebagai Spesimen Uji

Spesimen uji yang digunakan pada percobaan ini adalah pelat positif yang ditambah *acetylene black* sebanyak 1,5% dan 2% dari berat pasta dan pelat positif yang ditambah karbon aktif norit sebanyak 1% dan 1,5% dari berat pasta. Pelat positif standar digunakan sebagai acuan untuk analisis pengaruh penambahan karbon pada pelat positif. Komposisi kimia pada semua spesimen uji sama dengan pelat standar, hanya saja diberi aditif berupa karbon. Tabel 4.1 menunjukkan komposisi kimia pasta pelat positif standar dan pelat negatif standar yang digunakan. Komposisi yang tercantum pada tabel 4.1 diperoleh dari PT Indobatt Industri Permai.

Tabel 4.1 Komposisi kimia pasta pelat positif dan negatif.

Positif	Negatif
Bubuk timbal oksida (PbO)	Bubuk timbal oksida (PbO)
<i>Sodium Lignosulfonate</i> (0,1% dari berat bubuk PbO)	<i>Sodium Lignosulfonate</i> (0,1% dari berat bubuk PbO)
	H ₂ O (10,2% dari berat bubuk PbO)
H ₂ O (13,2% dari berat bubuk PbO)	H ₂ SO ₄ (9,9% dari berat bubuk PbO)
	BaSO ₄

Tabel 4.1 Komposisi kimia pasta pelat positif dan negatif (lanjutan).

Positif	Negatif
H ₂ SO ₄ (10,6% dari berat bubuk PbO)	<i>Stearic Acid</i> (0,1% dari berat bubuk PbO)
	<i>Expander</i> (0,5% dari berat bubuk PbO)

Aditif yang digunakan sebagai tambahan pada pasta pelat positif adalah *acetylene black* dan karbon aktif norit. *Acetylene black* yang digunakan memiliki luasan permukaan sebesar 68 m²/g, sedangkan karbon aktif norit yang digunakan memiliki luasan permukaan sebesar 827 m²/g hingga 1271 m²/g.^[8,20]

4.2.1. Pembuatan Sel Baterai Pelat Positif Ditambah *Acetylene Black*

Pembuatan pelat positif sebagai spesimen uji dimulai dengan mempersiapkan rangka pelat dan pasta. Tiap satu pelat positif memiliki ketebalan sebesar 0,9 milimeter dan mengandung pasta seberat 80,5 gram. Pasta tersebut diberi *acetylene black* sebanyak 1,2 gram atau 1,5% dari berat pasta sebagai spesimen uji 1 dan sebanyak 1,61 gram atau 2% dari berat pasta sebagai spesimen uji 2. Proses pencampuran atau *mixing* dilakukan dengan meletakkan pasta pada plastik kemudian diberi aditif dan diremas-remas hingga aditif tercampur merata. Proses pencampuran pasta dan aditif dilakukan dengan cara dimasukkan ke dalam air supaya suhu pasta tidak lebih dari 50 derajat celcius. Proses *pasting* dilakukan secara manual hingga semua permukaan *grid* tertutup oleh pasta. Berat sebuah pelat positif yang diharapkan setelah proses *pasting* adalah 117,5 gram dengan toleransi 1,5 gram. Pada proses *pasting*, pelat diberi air akuades untuk mencegah kekeringan dan

mempermudah proses *pasting*. Kemudian pelat memasuki sebuah mesin *drying* untuk diproses selanjutnya. Pada proses *drying*, kadar air pada pelat positif dijaga agar tidak kurang dari 12% sebagai usaha untuk mencegah timbulnya retakan pada pasta pelat. Untuk menjaga jumlah kadar air tersebut, dilakukan kontrol terhadap suhu kerja pada proses *drying*. Kemudian pelat positif diproses *curing* selama 12 jam. Pada proses *curing*, suhu kerja yang digunakan tidak lebih dari 65 derajat celcius dengan kelembapan sebesar 90% hingga 98% *relative humidity*. Pada proses *curing*, kadar air masing-masing pelat positif dijaga agar berada pada kisaran 0,3% hingga 0,5%. Selanjutnya pelat positif disetrum selama 24 jam sebagai proses aktivasi pelat. Setelah aktif, pelat dicuci dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 70 derajat celcius selama 3 jam.

4.2.2. Pembuatan Sel Baterai Pelat Positif Ditambah Karbon Aktif Norit

Pembuatan pelat positif sebagai spesimen uji dimulai dengan mempersiapkan rangka pelat dan pasta. Tiap satu pelat positif memiliki ketebalan sebesar 0,9 milimeter dan mengandung pasta seberat 80,5 gram. Pasta tersebut diberi karbon aktif norit sebanyak 0,8 gram atau 1% dari berat pasta sebagai spesimen uji 3 dan sebanyak 1,2 gram atau 1,5% dari berat pasta sebagai spesimen uji 4. Proses pencampuran atau *mixing* dilakukan dengan meletakkan pasta pada plastik kemudian diberi aditif dan diremas-remas hingga aditif tercampur merata. Proses pencampuran pasta dan aditif dilakukan dengan cara dimasukkan ke dalam air supaya suhu pasta tidak lebih dari 50 derajat celcius. Proses *pasting* dilakukan secara manual hingga semua permukaan *grid* tertutup oleh pasta. Berat sebuah pelat positif yang diharapkan setelah proses *pasting* adalah 117,5 gram dengan toleransi 1,5 gram. Pada proses *pasting*, pelat diberi air akuades untuk mencegah kekeringan dan mempermudah proses *pasting*. Kemudian pelat memasuki sebuah mesin *drying* untuk diproses selanjutnya. Pada proses *drying*, kadar air pada pelat positif dijaga agar tidak kurang dari 12% sebagai

usaha untuk mencegah timbulnya retakan pada pasta pelat. Untuk menjaga jumlah kadar air tersebut, dilakukan kontrol terhadap suhu kerja pada proses *drying*. Kemudian pelat positif diproses *curing* selama 12 jam. Pada proses *curing*, suhu kerja yang digunakan tidak lebih dari 65 derajat celsius dengan kelembapan sebesar 90% hingga 98% *relative humidity*. Pada proses curing, kadar air masing-masing pelat positif dijaga agar berada pada kisaran 0,3% hingga 0,5%. Selanjutnya pelat positif disetrum selama 24 jam sebagai proses aktivasi pelat. Setelah aktif, pelat dicuci dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 70 derajat celsius selama 3 jam.

4.3. Pengujian Menggunakan 8 Channel Battery Analyzer

Pelat positif dan negatif standar yang digunakan pada penelitian ini, diperoleh dari PT Indobatt Industri Permai. Pelat standar dan pelat dengan aditif dipotong menjadi spesimen dengan ukuran pasta sebesar 0,5 cm x 1,5 cm. Kemudian spesimen dilapisi lem epoksi pada bagian yang tidak berhadapan dengan spesimen pelat negatif untuk mengurangi kemungkinan terjadinya arus pendek ketika direaksikan, sedangkan pada bagian yang berhadapan diberi sekat isolator seperti ditunjukkan pada gambar



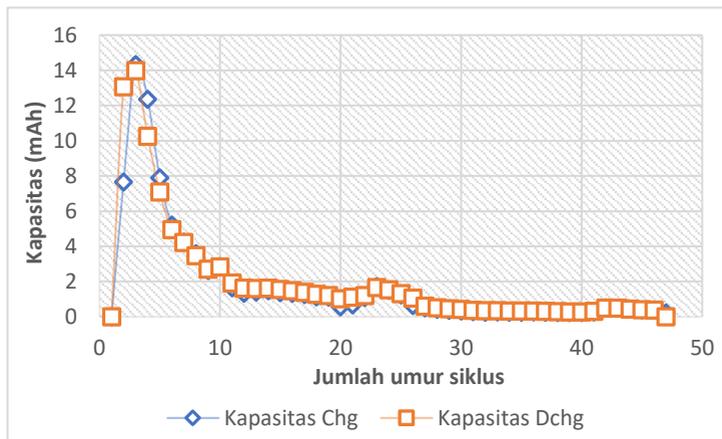
Gambar 4.1 Susunan spesimen uji 8 Channel Battery Analyzer.

4.1. Spesimen positif dan negatif diikat menggunakan senar *nylon*, kemudian dimasukkan ke dalam kuvet. Kuvet diisi larutan asam sulfat (H_2SO_4) hingga pasta pada spesimen terendam. Capit buaya yang telah terhubung dengan 8 Channel Battery Analyzer,

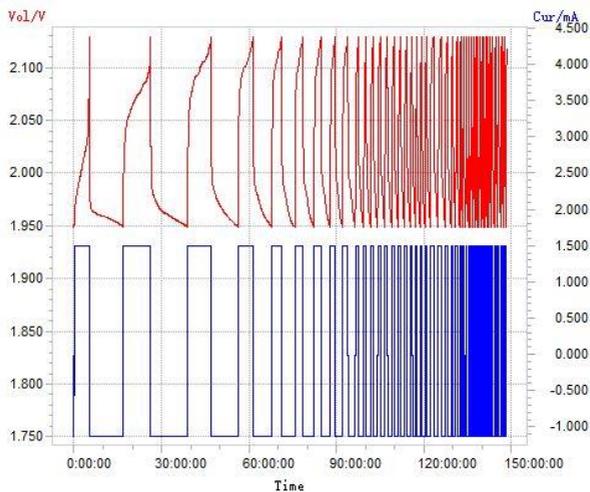
dihubungkan ke spesimen seperti pada gambar 3.3. Setelah semuanya siap, pengujian bisa dijalankan dengan pengaturan tiap siklus seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.2.

4.3.1. Hasil Pengujian Pelat Standar

Data hasil dari percobaan ini adalah kapasitas dan tegangan spesimen uji. Hasil pengujian pelat positif standar ditunjukkan pada gambar 4.2 dan gambar 4.3. Gambar 4.2 menunjukkan kurva kapasitas *charge* dan *discharge* sedangkan gambar 4.3 menunjukkan kurva arus dan tegangan pada pelat positif standar selama pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pelat positif standar mempunyai umur siklus sebanyak 47 *cycle*. Harga kapasitas berdasarkan pengujian ini sebesar 13,98 mAh. Pada gambar 4.2 terlihat bahwa terjadi peningkatan dan penurunan kapasitas pelat. Siklus ke 1 dan 2 terjadi kenaikan kapasitas *charge* dan *discharge*, namun siklus selanjutnya terjadi penurunan kapasitas hingga siklus ke 42. Pada siklus ke 42, kapasitas pelat mencapai nilai 0 mAh sehingga tidak terjadi reaksi elektrokimia.



Gambar 4.2 Kurva kapasitas *charge* dan *discharge* pelat positif standar.



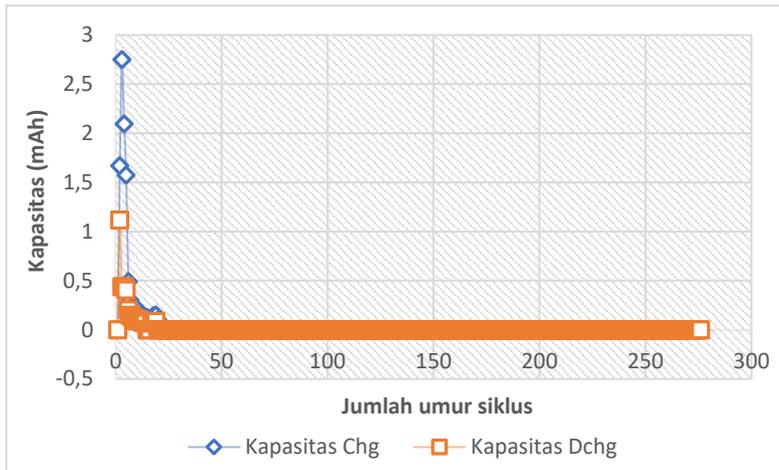
Gambar 4.3 Kurva arus dan tegangan pelat positif standar.

4.3.2. Hasil Pengujian Pelat Positif Ditambah *Acetylene Black*

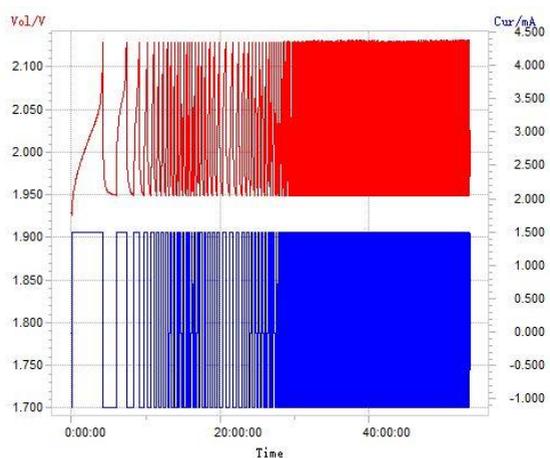
Pavlov mengungkapkan bahwa penambahan karbon pada suatu pelat meningkatkan konduktivitas pelat dan mengubah struktur mikro pelat.^[1] Hal ini berkaitan dengan besarnya kapasitas pelat dan umur siklus pelat. Beberapa penelitian menunjukkan terjadi peningkatan pada kapasitas baterai dan jumlah umur siklus baterai seiring dengan penambahan karbon pada material aktif pelat.

Data hasil dari percobaan ini adalah kapasitas dan tegangan spesimen uji. Hasil pengujian pelat positif yang diberi *acetylene black* sebanyak 1,5% ditunjukkan pada gambar 4.4 dan gambar 4.5. Gambar 4.4 menunjukkan kurva kapasitas *charge* dan *discharge* sedangkan gambar 4.5 menunjukkan kurva arus dan tegangan pelat positif yang ditambah *acetylene black* sebanyak 1,5%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pelat positif yang diberi *acetylene black* sebanyak 1,5% mempunyai umur siklus sebanyak 276 *cycle*. Harga kapasitas berdasarkan pengujian ini sebesar 1,11 mAh. Pada gambar 4.4 terlihat adanya peningkatan kapasitas pelat pada siklus ke 2, kemudian terus menurun hingga

siklus ke 276. Pada siklus ke 276, kapasitas pelat mencapai nilai 0 mAh sehingga tidak terjadi reaksi elektrokimia.



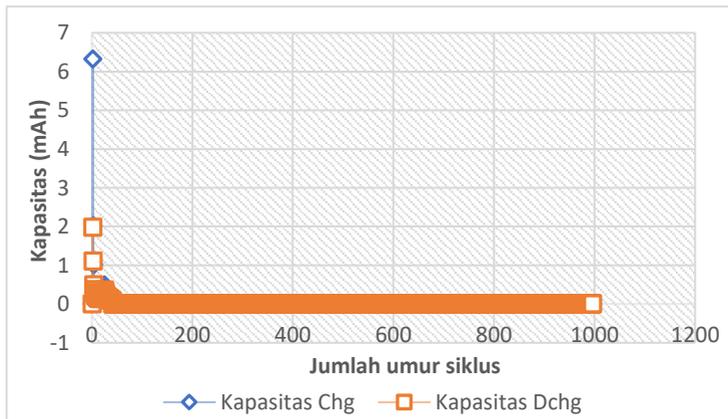
Gambar 4.4 Kurva kapasitas *charge* dan *discharge* pelat positif dengan *acetylene black* 1,5%.



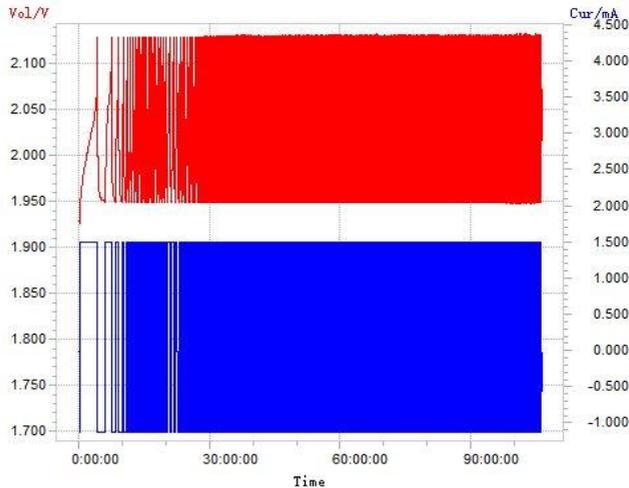
Gambar 4.5 Kurva arus dan tegangan pelat positif dengan *acetylene black* 1,5%.

Pengujian juga dilakukan terhadap pelat yang diberi *acetylene black* sebanyak 2%. Hasil dari pengujian ini digambarkan dalam sebuah kurva seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6 dan gambar 4.7. Gambar 4.6 menunjukkan kurva kapasitas *charge* dan *discharge*, sedangkan gambar 4.7 menunjukkan kurva arus dan tegangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pelat positif yang diberi *acetylene black* sebanyak 2% mempunyai umur siklus sebanyak 996 *cycle* sehingga pelat positif yang diberi *acetylene black* sebanyak 2% mempunyai umur siklus lebih banyak dibanding pelat positif yang diberi *acetylene black* sebanyak 1,5%. Harga kapasitas berdasarkan pengujian ini sebesar 1,98 mAh. Pada gambar 4.7 terlihat pelat mengalami siklus singkat. Pelat mulai mengalami siklus singkat pada siklus ke 257 dimana tahap *charge* dan *discharge* dengan kondisi arus tetap masing-masing dilalui hanya dalam waktu 1 menit.

Hasil pengujian pelat positif dengan *acetylene black* 1,5% dan 2% serupa dengan pengujian yang dilakukan oleh Nurul. Hal ini berarti bahwa penambahan *acetylene black* pada pelat positif tidak meningkatkan kapasitas baterai.



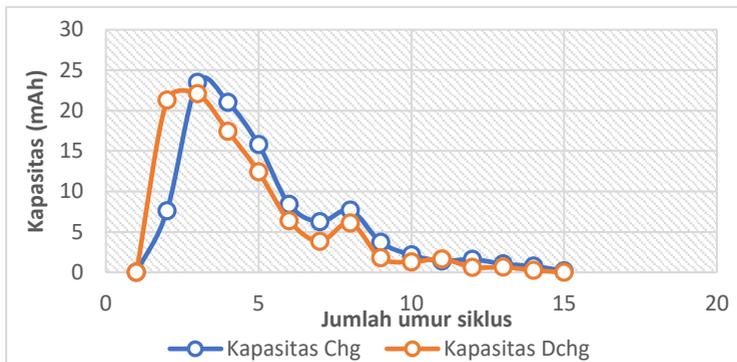
Gambar 4.6 Kurva kapasitas *charge* dan *discharge* pelat positif dengan *acetylene black* 2%.



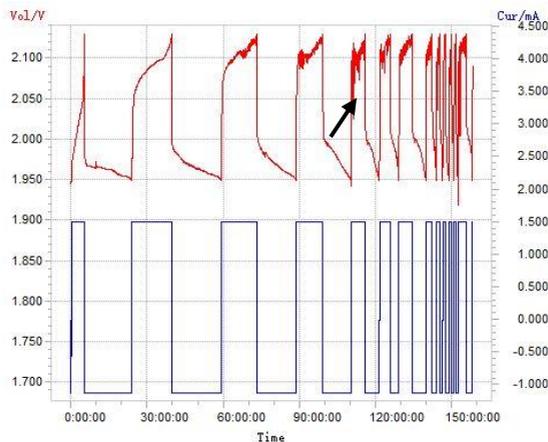
Gambar 4.7 Kurva arus dan tegangan pelat positif dengan *acetylene black* 2%.

4.3.3. Hasil Pengujian Pelat Positif Ditambah Karbon Aktif Norit

Data hasil dari percobaan ini adalah kapasitas dan tegangan spesimen uji. Hasil pengujian pelat positif yang diberi karbon aktif norit sebanyak 1% ditunjukkan pada gambar 4.8 dan gambar 4.9. Gambar 4.8 menunjukkan kurva tegangan kondisi *charge* dan *discharge* sedangkan gambar 4.9 menunjukkan kurva arus dan tegangan pelat positif yang ditambah karbon aktif norit sebanyak 1%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pelat positif yang diberi karbon aktif norit sebanyak 1% mempunyai umur siklus sebanyak 15 *cycle*. Harga kapasitas berdasarkan pengujian ini sebesar 22,07 mAh. Pada gambar 4.8 terlihat bahwa terjadi penurunan kapasitas pelat pada siklus ke 4 dan terus menurun hingga siklus ke 15. Pada siklus ke 15, kapasitas pelat mencapai nilai 0 mAh sehingga tidak terjadi reaksi elektrokimia. Pada gambar 4.9 terlihat adanya *noise* seperti yang ditunjukkan oleh anak panah. Gangguan ini berasal dari kontak antara capit buaya dengan pelat yang tidak sempurna.



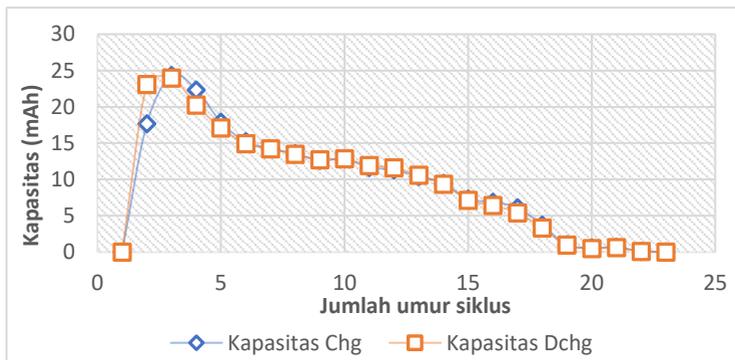
Gambar 4.8 Kurva kapasitas *charge* dan *discharge* pelat positif dengan norit 1%.



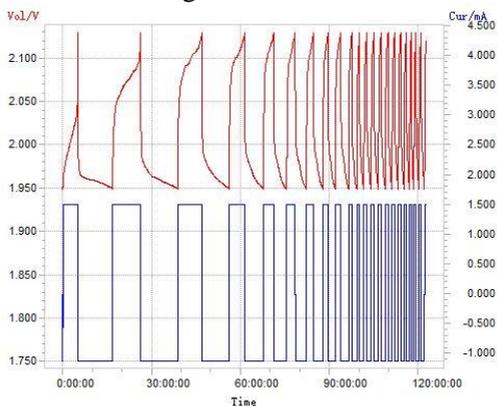
Gambar 4.9 Kurva arus dan tegangan pelat positif dengan norit 1%.

Pengujian juga dilakukan terhadap pelat yang diberi karbon aktif norit sebanyak 1,5%. Hasil dari pengujian ini digambarkan dalam sebuah kurva seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10 dan gambar 4.11. Gambar 4.10 menunjukkan kurva kapasitas pada kondisi *charge* dan *discharge*, sedangkan gambar 4.11 menunjukkan kurva arus dan tegangan. Hasil pengujian

menunjukkan bahwa pelat positif yang diberi karbon aktif norit sebanyak 1,5% mempunyai umur siklus sebanyak 23 *cycle* sehingga pelat positif yang diberi karbon aktif norit sebanyak 1,5% mempunyai umur siklus lebih banyak dibanding pelat positif yang diberi karbon aktif norit sebanyak 1%. Harga kapasitas berdasarkan pengujian ini sebesar 23,98 mAh sehingga pelat positif dengan karbon aktif norit sebanyak 1% memiliki kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan pelat positif dengan karbon aktif 1,5%.



Gambar 4.10 Kurva kapasitas *charge* dan *discharge* pelat positif dengan norit 1,5%.



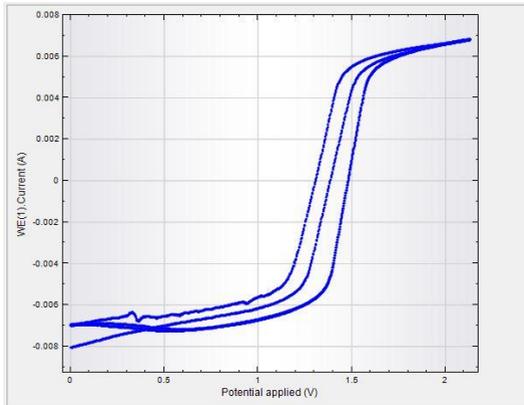
Gambar 4.11 Kurva arus dan tegangan pelat positif dengan norit 1,5%.

4.4. Pengujian *Cyclic Voltammetric*

Pelat positif dan negatif standar yang digunakan pada penelitian ini, diperoleh dari PT Indobatt Industri Permai. Pelat standar dan pelat dengan aditif dipotong menjadi spesimen dengan ukuran pasta sebesar 0,5 cm x 1,5 cm. Alat uji yang digunakan adalah potensiostat merk Metrohm Autolab. Mula-mula dilakukan kalibrasi alat uji menggunakan *dummy electrode*. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi aktual alat uji dan menyesuaikan dengan standar. Alat uji tersebut sangatlah sensitif sehingga ketika digunakan keadaan sekeliling diharapkan tidak menimbulkan kegaduhan yang mengganggu proses pengujian. Setelah kalibrasi selesai dilakukan, spesimen positif dijepitkan ke capit buaya yang telah dihubungkan dengan alat uji sebagai *work electrode*. Spesimen negatif yang digunakan hanya berupa *grid* atau rangka pelat sebagai *counter electrode*. Hal ini dikarenakan pada proses *cyclic voltammetric*, elektroda pembalik diharapkan tidak bereaksi. Metode pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah voltametrik siklus dengan pengaturan pengujian seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.3.

4.4.1. Hasil Pengujian Pelat Standar

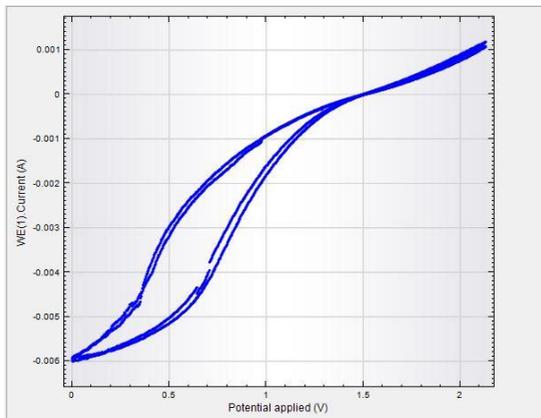
Spesimen uji yang digunakan adalah spesimen uji berukuran 1,5 cm x 0,5 cm yang masing-masing diambil dari pelat standar positif dan rangka pelat standar negatif. Pengujian pelat positif standar dimaksudkan sebagai referensi atau pembanding bagi pelat positif yang diberi aditif untuk mengetahui pengaruh dari pemberian aditif terhadap kinerja pelat. Hasil pengujian pelat positif standar ditunjukkan pada gambar 4.10. Persamaan grafik pada gambar 4.10 adalah $y = -8217,5x^2 + 87,21x + 1,5869$ yang mana hasil integral dari persamaan tersebut dengan batas atas dan bawah berturut-turut sebesar 0,006827 dan -0,00805 mengindikasikan besarnya kapasitas baterai tersebut. Hasil integral persamaan pada gambar 4.10 adalah sebesar 20,51 mAh.



Gambar 4.12 Grafik *cyclic voltametric* pelat positif standar.

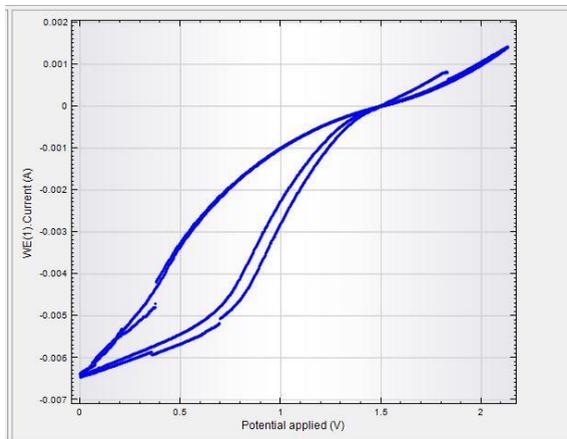
4.4.2. Hasil Pengujian Pelat Positif Ditambah *Acetylene Black*

Spesimen uji yang digunakan adalah spesimen uji berukuran 1,5 cm x 0,5 cm yang masing-masing diambil dari pelat positif yang ditambah *acetylene black* sebanyak 1,5% dari berat pasta dan rangka pelat standar negatif. Pengujian pelat positif yang diberi *acetylene black* 1,5% dari berat pasta dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari pemberian aditif terhadap kinerja pelat. Hasil pengujian pelat positif dengan *acetylene black* 1,5% ditunjukkan pada gambar 4.11. Persamaan grafik pada gambar 4.11 adalah $y = 36241x^2 + 429,67x + 1,5357$ yang mana hasil integral dari persamaan tersebut dengan batas atas dan bawah berturut-turut sebesar 0,001184 dan -0,006 mengindikasikan besarnya kapasitas baterai tersebut. Hasil integral persamaan pada gambar 4.11 adalah sebesar 6,23 mAh. Besar kapasitas pelat positif yang ditambah *acetylene black* 1,5% lebih rendah dari pelat standar. Menurunnya kapasitas sebuah sel baterai biasanya diikuti dengan kenaikan konduktivitas sel baterai tersebut.^[1]



Gambar 4.13 Grafik *cyclic voltametric* pelat positif ditambah *acetylene black* 1,5%.

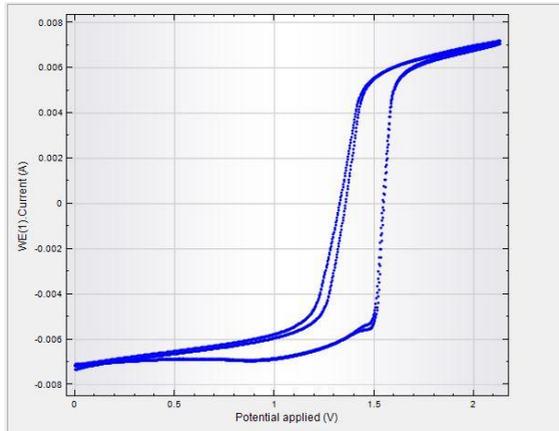
Spesimen uji yang digunakan adalah spesimen uji berukuran 1,5 cm x 0,5 cm yang masing-masing diambil dari pelat positif yang ditambah *acetylene black* sebanyak 2% dari berat pasta dan rangka pelat standar negatif. Pengujian pelat positif yang diberi *acetylene black* 2% dari berat pasta dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari pemberian aditif terhadap kinerja pelat. Hasil pengujian pelat positif dengan *acetylene black* 2% ditunjukkan pada gambar 4.12. Persamaan grafik pada gambar 4.12 adalah $y = 26819x^2 + 366,96x + 1,5271$ yang mana hasil integral dari persamaan tersebut dengan batas atas dan bawah berturut-turut sebesar 0,001415 dan -0,00646 mengindikasikan besarnya kapasitas baterai tersebut. Hasil integral persamaan pada gambar 4.12 adalah sebesar 14,51 mAh. Besar kapasitas pelat positif yang ditambah *acetylene black* 2% lebih rendah dari pelat standar namun lebih tinggi dari pelat positif yang diberi *acetylene black* 1,5%.



Gambar 4.14 Grafik *cyclic voltammetric* pelat positif ditambah *acetylene black* 2%.

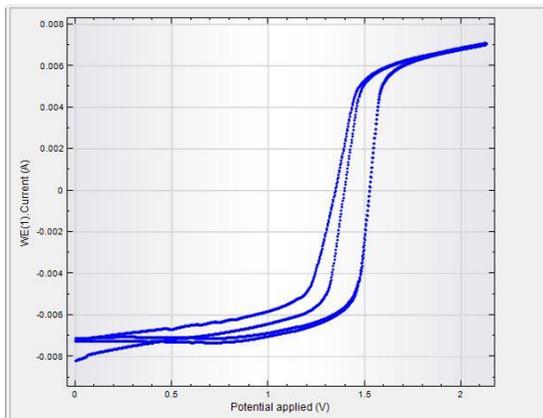
4.4.3. Hasil Pengujian Pelat Positif Ditambah Karbon Aktif Norit

Spesimen uji yang digunakan adalah spesimen uji berukuran 1,5 cm x 0,5 cm yang masing-masing diambil dari pelat positif yang ditambah karbon aktif norit sebanyak 1% berat pasta dan pelat standar negatif. Pengujian pelat positif yang diberi karbon aktif norit 1% berat pasta dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari pemberian aditif terhadap kinerja pelat. Hasil pengujian pelat positif dengan karbon aktif norit 1% ditunjukkan pada gambar 4.13. Persamaan grafik pada gambar 4.13 adalah $y = -9836,7x^2 + 86,407x + 1,6646$ yang mana hasil integral dari persamaan tersebut dengan batas atas dan bawah berturut-turut sebesar 0,007193 dan -0,00733 mengindikasikan besarnya kapasitas baterai tersebut. Hasil integral persamaan pada gambar 4.13 adalah sebesar 21,57 mAh. Besar kapasitas pelat positif yang ditambah karbon aktif norit 1% lebih tinggi dari pelat standar dan pelat positif yang diberi *acetylene black*.



Gambar 4.15 Grafik *cyclic voltammetric* pelat positif ditambah karbon aktif norit 1%.

Spesimen uji yang digunakan adalah spesimen uji berukuran 1,5 cm x 0,5 cm yang masing-masing diambil dari pelat positif yang ditambah karbon aktif norit sebanyak 1,5% berat pasta dan pelat standar negatif. Pengujian pelat positif yang diberi karbon aktif norit 1,5% berat pasta dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari pemberian aditif terhadap kinerja pelat. Hasil pengujian pelat positif dengan karbon aktif norit 1,5% ditunjukkan pada gambar 4.14. Persamaan grafik pada gambar 4.14 adalah $y = -9923,5x^2 + 82,843x + 1,6928$ yang mana hasil integral dari persamaan tersebut dengan batas atas dan bawah berturut-turut sebesar 0,007091 dan -0,00821 mengindikasikan besarnya kapasitas baterai tersebut. Hasil integral persamaan pada gambar 4.14 adalah sebesar 22,18 mAh. Besar kapasitas pelat positif yang ditambah karbon aktif norit 1,5% lebih rendah dari pelat standar. Besar kapasitas pelat positif yang ditambah karbon aktif norit 1,5% paling tinggi diantara spesimen uji.



Gambar 4.6 Grafik *cyclic voltammetric* pelat positif ditambah karbon aktif norit 1,5%.

4.5. Perbandingan Hasil Pengujian

Tabel 4.2 Perbandingan hasil pengujian.

Pengujian Pelat positif	8 Channel Battery Analyzer		Cyclic Voltammetry
	Kapasitas	Umur	
Standar	13,98 mAh	42 siklus	20,51 mAh
Aditif <i>acetylene black</i> 1,5%	1,11 mAh	276 siklus	6,23 mAh
Aditif <i>acetylene black</i> 2%	1,98 mAh	996 siklus	14,51 mAh
Aditif karbon aktif norit 1%	22,07 mAh	15 siklus	21,57 mAh
Aditif karbon aktif norit 1,5%	23,98 mAh	23 siklus	22,18 mAh

Hasil pengujian menggunakan *8 Channel Battery Analyzer* dan *Cyclic Voltammetry* disajikan dalam bentuk tabel seperti ditunjukkan pada tabel 4.2. Terlihat bahwa kapasitas paling besar

diperoleh dengan menambahkan karbon aktif norit sebanyak 1,5% sedangkan umur siklus hidup paling besar diperoleh dengan menambahkan *acetylene* sebanyak 2%. Dari 5 spesimen uji yang ada, umur baterai paling panjang adalah pelat positif yang diberi *acetylene black* 2% sebesar 996 siklus atau meningkatkan umur baterai sebanyak 2019%.

4.6. Kegagalan Dalam Percobaan

Pelaksanaan penelitian ini tidak luput dari kesalahan atau kegagalan. Kegagalan yang terjadi pada penelitian ini bervariasi, baik pada proses persiapan spesimen uji ataupun pada proses pengujian. Penyebab dari kegagalan yang terjadi pada penelitian ini, diantaranya keteledoran peneliti, pengaturan alat penunjang penelitian yang kurang tepat, dan faktor lingkungan yang berada diluar jangkauan peneliti.

4.6.1. Pasting Tidak Rata

Kegagalan dikarenakan proses *pasting* yang dilakukan secara manual, disamping dibutuhkan keahlian dan kesabaran dalam melakukan proses ini. Ketebalan pasta yang diberikan ke *grid* mempengaruhi kualitas pelat. Permukaan yang tidak rata cenderung akan menyebabkan retakan setelah proses *curing*. Hal ini mempengaruhi proses *charging-discharging* bila pada bagian yang terdapat retakan tersebut diambil sebagai spesimen uji.

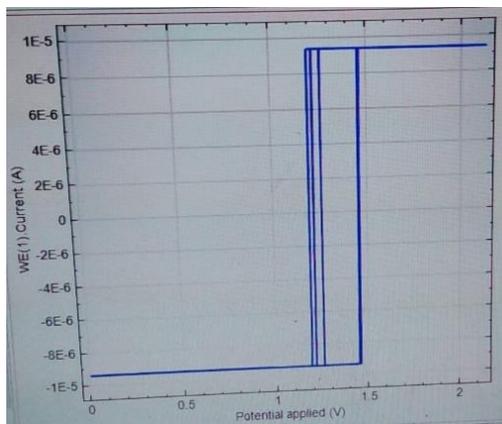
4.6.2. Pasta Pelat Terlepas Sebagian Saat Pemotongan

Pemotongan pelat menjadi spesimen uji berukuran 0,5 cm x 1,5 cm perlu dilakukan dengan hati-hati. Hal ini dilakukan untuk menghindari terkelupas atau timbul retakan pada spesimen uji. Terkelupasnya sebagian dari pasta menyebabkan jumlah pasta pada spesimen tersebut tidak sama dengan spesimen yang lainnya sehingga memungkinkan terjadinya perbedaan hasil pengukuran. Pemotongan pelat menjadi spesimen yang dilakukan dengan kasar juga menyebabkan retakan pada pasta dan tidak dipungkiri mampu menyebabkan kerusakan pada pasta. Pemberian jarak setidaknya

satu *grid* pada masing-masing spesimen menjadi solusi untuk menghindari terjadinya kegagalan ini.

4.6.3. Voltammogram Tidak Tepat

Voltametri merupakan alat yang sensitif. Selain itu pengukuran yang dilakukan oleh voltametri melibatkan satuan dalam skala yang relatif kecil sehingga diperlukan ketelitian serta keakuratan dalam pengaturan alat uji tersebut. Bahkan instrumen pendukung alat uji seperti kabel bila tidak terpasang dengan tepat akan mengakibatkan hasil pengujian tidak tepat, seperti ditunjukkan pada gambar 4.7.



Gambar 4.17 Kegagalan pengujian menggunakan *potensiostat*.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan terkait dengan hasil yang diperoleh selama proses pengujian. Adapun kesimpulan penelitian ini dituliskan dalam poin-poin sebagai berikut.

1. Berdasarkan pengujian menggunakan 8 *Channel Battery Analyzer*, penambahan *acetylene black* sebanyak 1,5% dan 2% dari berat pasta tidak meningkatkan kapasitas baterai namun meningkatkan umur siklus hidup baterai sebesar 487% dan 2019% dari umur siklus hidup baterai standar.
2. Berdasarkan pengujian menggunakan 8 *Channel Battery Analyzer*, penambahan karbon aktif norit sebanyak 1% dan 1,5% dari berat pasta tidak meningkatkan umur siklus baterai namun meningkatkan kapasitas baterai sebesar 57% dan 71% dari kapasitas baterai standar.
3. Berdasarkan pengujian menggunakan teknik *cyclic voltammetry*, penambahan *acetylene black* sebanyak 1,5% dan 2% dari berat pasta pada pasta pelat positif tidak meningkatkan kapasitas pelat positif.
4. Berdasarkan pengujian menggunakan teknik *cyclic voltammetry*, penambahan karbon aktif norit sebanyak 1% dan 1,5% dari berat pasta meningkatkan kapasitas pelat positif sebesar 5% dan 8%.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh melalui penelitian ini, maka saran yang bisa diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Proses *mixing* dan *pasting* sebaiknya dilakukan secara otomatis atau menggunakan bantuan mesin sebagai upaya untuk mengurangi kesalahan yang dilakukan oleh peneliti.

2. Pengujian menggunakan 8 *Channel Battery Analyzer* dilakukan dengan lebih teliti dan hati-hati karena pengujian ini mudah sekali terjadi arus pendek atau *error* selama pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pavlov, D. 2011. *Lead-Acid Batteries: Science and Technology*. Oxford: Elsevier
- [2] W. Zhang, et al, *Lead-carbon electrode designed for renewable energy storage superior performance in partial state of charge operation*, J. Power Source 342 (2017) 183-191
- [3] S.W. Swogger, et al, *Discrete carbon nanotubes increase lead-acid battery charge acceptance and performance*, J. Power Source 261 (2014) 55-63
- [4] Jung, J. 2016. *Lead-Acid Battery Technologies: Fundamentals, Materials, and Applications*. New York: CRC Press
- [5] M. Shiomi, et al, *Effects of carbon in negative plates on cycle-life performance of valve-regulated lead/acid batteries*, J. Power Source 64 (1997) 147-152
- [6] D. Pavlov, et al, *Influence of carbons on the structure of the negative active material of lead-acid batteries and on the battery performance*, J. Power Source 196 (2011) 5155-5167
- [7] N. Sugumaran, et al, *Lead acid battery performance and cycle life increased through addition of discrete carbon nanotubes to both electrodes*, J. Power Source 279 (2015) 281-293
- [8] Nurul, K.S. 2017. Analisis penambahan carbon additive pada pelat positif baterai lead-acid untuk memperpanjang life cycle. Surabaya: Teknik Mesin FTI-ITS
- [9] Suozzo, C. 2008. *Lead-Acid Battery Aging and State of Health Diagnosis*. Ohio: The Ohio State University
- [10] P.T. Moseley, *Improving the valve-regulated lead-acid battery*, J. Power Source 88 (2000) 71-77
- [11] L.T. Lam, et al, *Understanding the mechanism by which bismuth improves lead-acid battery capacity*, J. Power Source 88 (2000) 11-17
- [12] Garche, J. 2017. *Lead-Acid Batteries for Future Automobiles*. Amsterdam: Elsevier
- [13] P. Ruetschi, *Aging mechanism and service life of lead-acid batteries*, J. Power Source 127 (2004) 33-44

- [14] Moseley, P.T. 2004. *Valve-Regulated Lead-Acid Batteries*. Amsterdam: Elsevier
- [15] B. Culpin, et al, *Failure mode of lead/acid batteries*, J. Power Source 36 (1991) 415-438
- [16] D. Pavlov, et al, *Processes at the micro-level in the oxidation of PbSO₄ to PbO₂ during charging of lead/acid battery positive plates*, J. Power Source 30 (1990) 77-97
- [17] N. Bui, et al, *The tin effect in lead-calcium alloys*, J. Power Source 67 (1997) 61-67
- [18] D. Pavlov, et al, *Influence of fast charge on the life cycle of positive lead-acid battery plates*, J. Power Source 87 (2000) 39-56
- [19] S. Atlung, et al, *Degradation of the positive plat of the lead/acid battery during cycling*, J. Power Source 30 (1990) 131-141
- [20] L.F. Herrera, et al, *A self-consistent method to determine accessible volume, area and pore size distribution (ASPD) of BPI, Norit, and AX-21 activated carbon*, Carbon 50 (2012) 500-509

LAMPIRAN

A. Data Hasil Pengujian 8 Channel Battery Analyzer Pelat Positif Standar

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
1	0	0	25	1,234	1,311
2	7,658	13,069	26	0,644	1,057
3	14,320	13,982	27	0,510	0,609
4	12,346	10,248	28	0,419	0,517
5	7,895	7,081	29	0,363	0,458
6	5,205	4,944	30	0,325	0,413
7	4,243	4,219	31	0,286	0,368
8	3,576	3,467	32	0,259	0,342
9	2,629	2,711	33	0,279	0,349
10	2,842	2,835	34	0,258	0,324
11	1,644	1,921	35	0,256	0,321
12	1,336	1,628	36	0,274	0,328
13	1,405	1,599	37	0,259	0,309
14	1,474	1,631	38	0,235	0,285
15	1,371	1,555	39	0,227	0,275
16	1,334	1,482	40	0,232	0,279
17	1,261	1,394	41	0,273	0,316
18	1,137	1,283	42	0,512	0,489
19	1,105	1,206	43	0,495	0,490
20	0,564	1,018	44	0,438	0,445
21	0,673	1,114	45	0,386	0,408
22	1,100	1,199	46	0,369	0,389
23	1,714	1,664	47	0,210	0
24	1,498	1,527			

B. Data Hasil Pengujian 8 Channel Battery Analyzer Pelat Positif Acetylene Black 1,5%

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
1	0	0	26	0.003	0.001
2	1,671	1,116	27	0.003	0.002
3	2,749	0,438	28	0.003	0.002
4	2,095	0,435	29	0.003	0.002
5	1,575	0,406	30	0.003	0.002
6	0,490	0,203	31	0.003	0.002
7	0,297	0,147	32	0.003	0.002
8	0,238	0,129	33	0.003	0.001
9	0,209	0,113	34	0.003	0.002
10	0,151	0,092	35	0.003	0.002
11	0,192	0,101	36	0.003	0.001
12	0,149	0,085	37	0.003	0.002
13	0,140	0,078	38	0.003	0.002
14	0,113	0,070	39	0.003	0.002
15	0,124	0,097	40	0.003	0.002
16	0,097	0,085	41	0.003	0.002
17	0,120	0,069	42	0.003	0.002
18	0,145	0,075	43	0.003	0.001
19	0,149	0,086	44	0.003	0.002
20	0,101	0,092	45	0.003	0.002
21	0,056	0,002	46	0.003	0.001
22	0,003	0,002	47	0.003	0.002
23	0,003	0,001	48	0.003	0.002
24	0,003	0,002	49	0.003	0.002
25	0,003	0,002	50	0.003	0.002

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
51	0.003	0.002	76	0.003	0.002
52	0.003	0.002	77	0.003	0.001
53	0.003	0.002	78	0.003	0.002
54	0.003	0.002	79	0.003	0.001
55	0.003	0.001	80	0.003	0.002
56	0.003	0.002	81	0.003	0.002
57	0.003	0.002	82	0.003	0.001
58	0.003	0.001	83	0.003	0.002
59	0.003	0.002	84	0.003	0.001
60	0.003	0.001	85	0.003	0.002
61	0.003	0.002	86	0.003	0.001
62	0.003	0.002	87	0.003	0.002
63	0.003	0.001	88	0.003	0.001
64	0.003	0.002	89	0.003	0.002
65	0.003	0.001	90	0.003	0.001
66	0.003	0.002	91	0.003	0.002
67	0.003	0.002	92	0.003	0.001
68	0.003	0.001	93	0.003	0.002
69	0.003	0.002	94	0.003	0.001
70	0.003	0.001	95	0.003	0.001
71	0.003	0.002	96	0.003	0.002
72	0.003	0.002	97	0.003	0.001
73	0.003	0.001	98	0.003	0.001
74	0.003	0.002	99	0.003	0.002
75	0.003	0.001	100	0.003	0.001

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
101	0.003	0.002	126	0.003	0.002
102	0.003	0.002	127	0.003	0.002
103	0.003	0.002	128	0.003	0.002
104	0.003	0.001	129	0.003	0.002
105	0.003	0.002	130	0.003	0.002
106	0.003	0.002	131	0.003	0.002
107	0.003	0.001	132	0.003	0.002
108	0.003	0.001	133	0.003	0.002
109	0.003	0.002	134	0.003	0.002
110	0.003	0.001	135	0.003	0.002
111	0.003	0.002	136	0.003	0.002
112	0.003	0.002	137	0.003	0.002
113	0.003	0.002	138	0.003	0.002
114	0.003	0.002	139	0.003	0.002
115	0.003	0.001	140	0.003	0.002
116	0.003	0.002	141	0.003	0.002
117	0.003	0.002	142	0.003	0.002
118	0.003	0.002	143	0.003	0.002
119	0.003	0.002	144	0.003	0.002
120	0.003	0.002	145	0.003	0.002
121	0.003	0.002	146	0.003	0.002
122	0.003	0.002	147	0.003	0.002
123	0.003	0.002	148	0.003	0.002
124	0.003	0.002	149	0.003	0.002
125	0.003	0.002	150	0.003	0.002

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
151	0.003	0.002	176	0.003	0.001
152	0.003	0.002	177	0.003	0.002
153	0.003	0.001	178	0.003	0.001
154	0.003	0.002	179	0.003	0.001
155	0.003	0.002	180	0.003	0.001
156	0.003	0.002	181	0.003	0.001
157	0.003	0.002	182	0.003	0.001
158	0.003	0.002	183	0.003	0.002
159	0.003	0.002	184	0.003	0.001
160	0.003	0.002	185	0.003	0.001
161	0.003	0.002	186	0.003	0.002
162	0.003	0.002	187	0.003	0.001
163	0.003	0.002	188	0.003	0.001
164	0.003	0.002	189	0.003	0.001
165	0.003	0.002	190	0.003	0.002
166	0.003	0.002	191	0.003	0.001
167	0.003	0.001	192	0.003	0.002
168	0.003	0.002	193	0.003	0.001
169	0.003	0.002	194	0.003	0.001
170	0.003	0.001	195	0.003	0.001
171	0.003	0.002	196	0.003	0.001
172	0.003	0.001	197	0.003	0.002
173	0.003	0.001	198	0.003	0.001
174	0.003	0.002	199	0.003	0.001
175	0.003	0.001	200	0.003	0.001

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
201	0.003	0.002	226	0.003	0.002
202	0.003	0.001	227	0.003	0.001
203	0.003	0.001	228	0.003	0.002
204	0.003	0.002	229	0.003	0.001
205	0.003	0.001	230	0.003	0.002
206	0.003	0.001	231	0.003	0.002
207	0.003	0.002	232	0.003	0.001
208	0.003	0.001	233	0.003	0.002
209	0.003	0.001	234	0.003	0.001
210	0.003	0.001	235	0.003	0.001
211	0.003	0.002	236	0.003	0.002
212	0.003	0.001	237	0.003	0.001
213	0.003	0.002	238	0.003	0.001
214	0.003	0.001	239	0.003	0.002
215	0.003	0.001	240	0.003	0.001
216	0.003	0.002	241	0.003	0.002
217	0.003	0.001	242	0.003	0.002
218	0.002	0.001	243	0.003	0.001
219	0.003	0.002	244	0.003	0.001
220	0.003	0.001	245	0.002	0.001
221	0.003	0.002	246	0.003	0.002
222	0.003	0.001	247	0.003	0.001
223	0.003	0.001	248	0.003	0.001
224	0.003	0.001	249	0.003	0.002
225	0.003	0.001	250	0.003	0.001

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
251	0.003	0.001	264	0.003	0.001
252	0.003	0.002	265	0.003	0.002
253	0.003	0.001	266	0.003	0.001
254	0.003	0.001	267	0.003	0.001
255	0.003	0.002	268	0.003	0.001
256	0.003	0.001	269	0.003	0.002
257	0.003	0.001	270	0.003	0.001
258	0.003	0.002	271	0.003	0.002
259	0.003	0.001	272	0.003	0.001
260	0.003	0.001	273	0.003	0.002
261	0.003	0.002	274	0.003	0.001
262	0.003	0.001	275	0.003	0.001
263	0.003	0.002	276	0.003	0.000

C. Data Hasil Pengujian 8 Channel Battery Analyzer Pelat Positif Acetylene Black 2%

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
1	0,000	0,000	26	0,419	0,321
2	6,319	1,981	27	0,368	0,269
3	2,008	1,109	28	0,305	0,230
4	1,019	0,495	29	0,265	0,203
5	0,460	0,371	30	0,243	0,186
6	0,345	0,291	31	0,222	0,173
7	0,276	0,247	32	0,206	0,163
8	0,243	0,219	33	0,193	0,152
9	0,221	0,202	34	0,181	0,144
10	0,205	0,188	35	0,171	0,135
11	0,191	0,174	36	0,160	0,126
12	0,177	0,161	37	0,147	0,115
13	0,165	0,152	38	0,134	0,104
14	0,158	0,147	39	0,118	0,093
15	0,153	0,142	40	0,103	0,083
16	0,150	0,140	41	0,093	0,074
17	0,150	0,141	42	0,085	0,098
18	0,156	0,153	43	0,078	0,091
19	0,183	0,174	44	0,074	0,086
20	0,213	0,188	45	0,071	0,083
21	0,222	0,192	46	0,097	0,078
22	0,259	0,230	47	0,092	0,074
23	0,299	0,251	48	0,088	0,069
24	0,338	0,280	49	0,083	0,066
25	0,493	0,358	50	0,080	0,064

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
51	0.077	0.061	76	0.052	0.039
52	0.074	0.059	77	0.051	0.038
53	0.072	0.057	78	0.050	0.038
54	0.069	0.054	79	0.050	0.038
55	0.067	0.053	80	0.049	0.037
56	0.065	0.051	81	0.049	0.037
57	0.063	0.049	82	0.048	0.037
58	0.061	0.048	83	0.048	0.036
59	0.059	0.047	84	0.048	0.036
60	0.058	0.045	85	0.048	0.035
61	0.056	0.044	86	0.047	0.035
62	0.055	0.043	87	0.046	0.035
63	0.054	0.043	88	0.046	0.034
64	0.055	0.043	89	0.046	0.034
65	0.055	0.043	90	0.045	0.033
66	0.055	0.043	91	0.045	0.033
67	0.055	0.043	92	0.044	0.033
68	0.055	0.042	93	0.044	0.033
69	0.054	0.042	94	0.044	0.032
70	0.054	0.042	95	0.043	0.032
71	0.054	0.041	96	0.043	0.031
72	0.053	0.041	97	0.042	0.030
73	0.053	0.041	98	0.041	0.030
74	0.053	0.039	99	0.041	0.030
75	0.052	0.039	100	0.041	0.030

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
101	0.041	0.030	126	0.038	0.028
102	0.040	0.029	127	0.038	0.028
103	0.040	0.029	128	0.038	0.028
104	0.040	0.029	129	0.038	0.028
105	0.040	0.029	130	0.038	0.028
106	0.039	0.028	131	0.039	0.028
107	0.039	0.028	132	0.039	0.029
108	0.039	0.028	133	0.040	0.029
109	0.038	0.028	134	0.040	0.030
110	0.039	0.028	135	0.041	0.030
111	0.039	0.028	136	0.041	0.030
112	0.039	0.028	137	0.041	0.031
113	0.038	0.028	138	0.042	0.031
114	0.038	0.028	139	0.043	0.031
115	0.038	0.028	140	0.042	0.031
116	0.038	0.028	141	0.043	0.031
117	0.038	0.028	142	0.043	0.032
118	0.038	0.028	143	0.043	0.032
119	0.038	0.028	144	0.044	0.032
120	0.038	0.027	145	0.044	0.032
121	0.038	0.028	146	0.044	0.032
122	0.038	0.028	147	0.044	0.033
123	0.038	0.028	148	0.044	0.033
124	0.038	0.028	149	0.045	0.006
125	0.038	0.028	150	0.090	0.050

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
151	0.075	0.048	176	0.048	0.034
152	0.070	0.047	177	0.046	0.033
153	0.067	0.046	178	0.046	0.033
154	0.064	0.045	179	0.044	0.032
155	0.062	0.044	180	0.043	0.031
156	0.060	0.043	181	0.043	0.030
157	0.059	0.042	182	0.042	0.030
158	0.058	0.042	183	0.041	0.029
159	0.057	0.041	184	0.040	0.028
160	0.056	0.040	185	0.039	0.028
161	0.055	0.040	186	0.038	0.028
162	0.055	0.040	187	0.038	0.027
163	0.055	0.041	188	0.038	0.027
164	0.056	0.040	189	0.038	0.026
165	0.056	0.041	190	0.037	0.027
166	0.057	0.042	191	0.037	0.026
167	0.058	0.042	192	0.037	0.026
168	0.058	0.042	193	0.037	0.026
169	0.057	0.041	194	0.036	0.025
170	0.055	0.039	195	0.035	0.025
171	0.054	0.039	196	0.035	0.025
172	0.053	0.038	197	0.035	0.025
173	0.052	0.037	198	0.035	0.025
174	0.050	0.036	199	0.034	0.024
175	0.048	0.035	200	0.035	0.025

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
201	0.035	0.024	226	0.029	0.020
202	0.034	0.024	227	0.029	0.020
203	0.034	0.024	228	0.029	0.020
204	0.033	0.024	229	0.028	0.020
205	0.033	0.024	230	0.029	0.020
206	0.034	0.023	231	0.029	0.020
207	0.033	0.023	232	0.028	0.020
208	0.033	0.023	233	0.028	0.020
209	0.033	0.023	234	0.028	0.020
210	0.032	0.023	235	0.029	0.020
211	0.032	0.023	236	0.028	0.019
212	0.032	0.023	237	0.028	0.019
213	0.032	0.022	238	0.028	0.019
214	0.032	0.022	239	0.028	0.019
215	0.031	0.022	240	0.027	0.019
216	0.031	0.022	241	0.028	0.019
217	0.030	0.022	242	0.027	0.019
218	0.030	0.021	243	0.027	0.019
219	0.030	0.021	244	0.027	0.019
220	0.030	0.021	245	0.027	0.018
221	0.030	0.021	246	0.027	0.018
222	0.030	0.021	247	0.027	0.018
223	0.030	0.021	248	0.026	0.018
224	0.029	0.020	249	0.026	0.018
225	0.029	0.020	250	0.026	0.018

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
251	0.025	0.018	276	0.023	0.016
252	0.025	0.018	277	0.023	0.016
253	0.025	0.018	278	0.023	0.016
254	0.025	0.018	279	0.023	0.016
255	0.025	0.018	280	0.022	0.015
256	0.025	0.018	281	0.022	0.015
257	0.025	0.017	282	0.023	0.016
258	0.025	0.017	283	0.022	0.015
259	0.025	0.017	284	0.022	0.015
260	0.025	0.017	285	0.022	0.015
261	0.024	0.017	286	0.022	0.015
262	0.024	0.017	287	0.022	0.015
263	0.024	0.016	288	0.022	0.015
264	0.024	0.016	289	0.022	0.015
265	0.024	0.017	290	0.022	0.015
266	0.024	0.017	291	0.021	0.015
267	0.024	0.016	292	0.021	0.015
268	0.024	0.017	293	0.021	0.015
269	0.024	0.016	294	0.021	0.014
270	0.023	0.016	295	0.021	0.014
271	0.024	0.016	296	0.021	0.014
272	0.023	0.016	297	0.021	0.015
273	0.023	0.016	298	0.021	0.014
274	0.023	0.016	299	0.020	0.014
275	0.023	0.016	300	0.020	0.014

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
301	0.020	0.014	326	0.019	0.013
302	0.020	0.014	327	0.019	0.013
303	0.020	0.014	328	0.019	0.013
304	0.020	0.014	329	0.019	0.013
305	0.020	0.014	330	0.019	0.013
306	0.020	0.014	331	0.019	0.013
307	0.020	0.014	332	0.019	0.013
308	0.020	0.014	333	0.019	0.013
309	0.020	0.014	334	0.019	0.013
310	0.020	0.014	335	0.019	0.013
311	0.020	0.014	336	0.020	0.013
312	0.020	0.014	337	0.019	0.013
313	0.020	0.014	338	0.019	0.013
314	0.020	0.013	339	0.018	0.013
315	0.020	0.013	340	0.018	0.013
316	0.020	0.014	341	0.019	0.013
317	0.020	0.013	342	0.019	0.013
318	0.020	0.013	343	0.018	0.013
319	0.020	0.013	344	0.018	0.013
320	0.019	0.013	345	0.019	0.013
321	0.019	0.013	346	0.018	0.013
322	0.019	0.013	347	0.018	0.013
323	0.019	0.013	348	0.018	0.013
324	0.020	0.013	349	0.018	0.013
325	0.020	0.013	350	0.018	0.013

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DCChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DCChg (mAh)
351	0.019	0.013	376	0.017	0.012
352	0.018	0.013	377	0.017	0.012
353	0.019	0.013	378	0.017	0.012
354	0.018	0.013	379	0.017	0.012
355	0.018	0.013	380	0.017	0.012
356	0.018	0.013	381	0.017	0.012
357	0.018	0.012	382	0.018	0.012
358	0.018	0.012	383	0.018	0.012
359	0.018	0.013	384	0.018	0.012
360	0.018	0.012	385	0.018	0.013
361	0.018	0.012	386	0.018	0.012
362	0.018	0.013	387	0.018	0.012
363	0.018	0.013	388	0.017	0.012
364	0.018	0.013	389	0.018	0.012
365	0.018	0.012	390	0.018	0.012
366	0.018	0.012	391	0.018	0.012
367	0.018	0.012	392	0.018	0.012
368	0.017	0.012	393	0.018	0.012
369	0.017	0.012	394	0.018	0.012
370	0.017	0.012	395	0.018	0.012
371	0.018	0.012	396	0.018	0.013
372	0.018	0.012	397	0.018	0.013
373	0.017	0.012	398	0.018	0.013
374	0.017	0.012	399	0.018	0.013
375	0.017	0.012	400	0.018	0.013

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
401	0.018	0.013	426	0.019	0.013
402	0.018	0.013	427	0.019	0.013
403	0.018	0.013	428	0.019	0.013
404	0.018	0.013	429	0.020	0.013
405	0.018	0.013	430	0.019	0.013
406	0.018	0.012	431	0.020	0.014
407	0.018	0.013	432	0.019	0.014
408	0.018	0.013	433	0.020	0.014
409	0.018	0.013	434	0.020	0.014
410	0.018	0.013	435	0.020	0.014
411	0.018	0.013	436	0.020	0.014
412	0.018	0.013	437	0.020	0.014
413	0.018	0.013	438	0.020	0.014
414	0.018	0.013	439	0.020	0.014
415	0.019	0.013	440	0.020	0.014
416	0.019	0.013	441	0.021	0.015
417	0.018	0.013	442	0.020	0.014
418	0.018	0.013	443	0.020	0.014
419	0.018	0.013	444	0.021	0.015
420	0.018	0.013	445	0.021	0.014
421	0.018	0.013	446	0.021	0.015
422	0.019	0.013	447	0.021	0.015
423	0.018	0.013	448	0.021	0.015
424	0.018	0.013	449	0.021	0.015
425	0.019	0.013	450	0.021	0.015

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
451	0.022	0.015	476	0.026	0.018
452	0.022	0.015	477	0.026	0.019
453	0.022	0.015	478	0.027	0.019
454	0.022	0.016	479	0.026	0.019
455	0.022	0.015	480	0.027	0.019
456	0.022	0.015	481	0.027	0.019
457	0.022	0.016	482	0.028	0.019
458	0.023	0.016	483	0.027	0.019
459	0.023	0.016	484	0.027	0.019
460	0.023	0.016	485	0.026	0.018
461	0.023	0.016	486	0.025	0.018
462	0.023	0.016	487	0.025	0.018
463	0.023	0.017	488	0.024	0.017
464	0.023	0.016	489	0.024	0.017
465	0.024	0.017	490	0.023	0.017
466	0.024	0.017	491	0.023	0.016
467	0.024	0.017	492	0.023	0.016
468	0.024	0.017	493	0.022	0.015
469	0.025	0.018	494	0.022	0.015
470	0.025	0.018	495	0.021	0.015
471	0.025	0.018	496	0.021	0.015
472	0.025	0.018	497	0.021	0.015
473	0.025	0.018	498	0.020	0.014
474	0.025	0.018	499	0.020	0.014
475	0.026	0.018	500	0.020	0.014

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
501	0.019	0.014	526	0.015	0.011
502	0.019	0.014	527	0.015	0.011
503	0.019	0.014	528	0.015	0.011
504	0.019	0.013	529	0.016	0.011
505	0.018	0.013	530	0.017	0.012
506	0.018	0.013	531	0.017	0.012
507	0.018	0.013	532	0.018	0.013
508	0.018	0.012	533	0.018	0.013
509	0.018	0.013	534	0.019	0.013
510	0.018	0.012	535	0.019	0.013
511	0.018	0.012	536	0.020	0.013
512	0.018	0.012	537	0.020	0.014
513	0.017	0.012	538	0.020	0.014
514	0.017	0.012	539	0.020	0.014
515	0.017	0.012	540	0.020	0.014
516	0.016	0.012	541	0.021	0.015
517	0.016	0.011	542	0.021	0.015
518	0.016	0.011	543	0.021	0.015
519	0.016	0.011	544	0.022	0.015
520	0.016	0.011	545	0.022	0.015
521	0.016	0.011	546	0.022	0.015
522	0.016	0.011	547	0.022	0.015
523	0.015	0.011	548	0.022	0.016
524	0.015	0.011	549	0.022	0.016
525	0.015	0.011	550	0.023	0.016

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
551	0.022	0.016	576	0.023	0.016
552	0.022	0.016	577	0.022	0.016
553	0.023	0.016	578	0.023	0.016
554	0.023	0.016	579	0.023	0.016
555	0.022	0.016	580	0.022	0.016
556	0.023	0.016	581	0.022	0.016
557	0.023	0.016	582	0.023	0.016
558	0.023	0.016	583	0.022	0.016
559	0.023	0.016	584	0.022	0.016
560	0.023	0.016	585	0.023	0.016
561	0.023	0.016	586	0.023	0.016
562	0.023	0.016	587	0.023	0.016
563	0.023	0.016	588	0.023	0.016
564	0.023	0.016	589	0.022	0.016
565	0.023	0.016	590	0.022	0.016
566	0.023	0.016	591	0.022	0.016
567	0.023	0.016	592	0.022	0.016
568	0.023	0.016	593	0.022	0.015
569	0.023	0.016	594	0.022	0.016
570	0.023	0.016	595	0.022	0.016
571	0.022	0.016	596	0.022	0.016
572	0.023	0.016	597	0.022	0.016
573	0.022	0.016	598	0.022	0.016
574	0.022	0.016	599	0.022	0.015
575	0.022	0.016	600	0.022	0.015

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
601	0.021	0.015	626	0.020	0.014
602	0.022	0.015	627	0.021	0.015
603	0.022	0.015	628	0.021	0.015
604	0.022	0.015	629	0.020	0.015
605	0.021	0.015	630	0.021	0.015
606	0.022	0.015	631	0.020	0.015
607	0.022	0.015	632	0.020	0.015
608	0.021	0.015	633	0.020	0.015
609	0.022	0.016	634	0.021	0.015
610	0.022	0.015	635	0.020	0.015
611	0.022	0.015	636	0.020	0.014
612	0.022	0.015	637	0.020	0.015
613	0.022	0.015	638	0.020	0.014
614	0.021	0.015	639	0.020	0.014
615	0.022	0.015	640	0.020	0.014
616	0.021	0.015	641	0.020	0.014
617	0.021	0.015	642	0.020	0.014
618	0.021	0.015	643	0.020	0.014
619	0.021	0.015	644	0.020	0.014
620	0.021	0.015	645	0.020	0.014
621	0.020	0.015	646	0.020	0.015
622	0.020	0.015	647	0.020	0.014
623	0.020	0.015	648	0.020	0.014
624	0.020	0.015	649	0.020	0.014
625	0.020	0.015	650	0.020	0.014

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
651	0.020	0.014	676	0.019	0.014
652	0.020	0.014	677	0.019	0.014
653	0.020	0.014	678	0.019	0.014
654	0.020	0.014	679	0.019	0.014
655	0.020	0.014	680	0.019	0.014
656	0.020	0.014	681	0.018	0.013
657	0.020	0.014	682	0.019	0.013
658	0.020	0.014	683	0.018	0.014
659	0.020	0.014	684	0.019	0.013
660	0.020	0.014	685	0.018	0.013
661	0.020	0.014	686	0.018	0.013
662	0.020	0.014	687	0.018	0.013
663	0.020	0.014	688	0.019	0.013
664	0.020	0.014	689	0.018	0.013
665	0.020	0.014	690	0.018	0.014
666	0.020	0.014	691	0.018	0.014
667	0.020	0.014	692	0.018	0.014
668	0.019	0.014	693	0.019	0.014
669	0.019	0.014	694	0.018	0.013
670	0.019	0.014	695	0.018	0.013
671	0.019	0.014	696	0.018	0.013
672	0.019	0.013	697	0.018	0.013
673	0.018	0.013	698	0.019	0.013
674	0.018	0.013	699	0.018	0.013
675	0.018	0.013	700	0.018	0.013

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
701	0.018	0.013	726	0.018	0.014
702	0.018	0.013	727	0.019	0.014
703	0.018	0.013	728	0.019	0.014
704	0.018	0.013	729	0.020	0.014
705	0.019	0.014	730	0.020	0.014
706	0.019	0.013	731	0.020	0.014
707	0.018	0.013	732	0.020	0.015
708	0.019	0.014	733	0.020	0.014
709	0.018	0.013	734	0.020	0.015
710	0.018	0.013	735	0.020	0.015
711	0.018	0.014	736	0.021	0.015
712	0.018	0.013	737	0.021	0.015
713	0.018	0.013	738	0.021	0.015
714	0.018	0.013	739	0.021	0.015
715	0.018	0.013	740	0.021	0.015
716	0.018	0.013	741	0.020	0.015
717	0.018	0.013	742	0.020	0.014
718	0.018	0.013	743	0.019	0.014
719	0.018	0.013	744	0.019	0.013
720	0.018	0.013	745	0.018	0.013
721	0.018	0.013	746	0.018	0.013
722	0.018	0.013	747	0.018	0.013
723	0.018	0.013	748	0.017	0.012
724	0.018	0.013	749	0.016	0.012
725	0.019	0.013	750	0.016	0.012

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
751	0.016	0.012	776	0.014	0.010
752	0.016	0.012	777	0.014	0.011
753	0.016	0.011	778	0.014	0.011
754	0.015	0.011	779	0.014	0.011
755	0.016	0.012	780	0.015	0.011
756	0.016	0.011	781	0.015	0.011
757	0.016	0.012	782	0.015	0.011
758	0.015	0.011	783	0.015	0.011
759	0.015	0.011	784	0.015	0.011
760	0.014	0.011	785	0.015	0.011
761	0.015	0.011	786	0.015	0.011
762	0.015	0.011	787	0.015	0.011
763	0.015	0.011	788	0.014	0.011
764	0.015	0.011	789	0.014	0.010
765	0.015	0.012	790	0.014	0.010
766	0.015	0.012	791	0.014	0.010
767	0.015	0.011	792	0.013	0.010
768	0.016	0.012	793	0.013	0.010
769	0.015	0.011	794	0.013	0.010
770	0.015	0.011	795	0.013	0.010
771	0.015	0.011	796	0.013	0.010
772	0.015	0.011	797	0.013	0.010
773	0.014	0.011	798	0.013	0.010
774	0.014	0.011	799	0.013	0.010
775	0.014	0.011	800	0.013	0.010

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
801	0.014	0.010	826	0.016	0.012
802	0.014	0.011	827	0.016	0.012
803	0.015	0.011	828	0.016	0.013
804	0.015	0.011	829	0.017	0.013
805	0.015	0.011	830	0.017	0.013
806	0.016	0.012	831	0.018	0.013
807	0.016	0.012	832	0.018	0.013
808	0.016	0.012	833	0.018	0.013
809	0.016	0.012	834	0.018	0.014
810	0.016	0.012	835	0.018	0.014
811	0.016	0.012	836	0.019	0.014
812	0.016	0.012	837	0.020	0.015
813	0.016	0.012	838	0.020	0.015
814	0.016	0.012	839	0.020	0.015
815	0.016	0.012	840	0.020	0.015
816	0.016	0.012	841	0.020	0.015
817	0.016	0.012	842	0.020	0.015
818	0.016	0.012	843	0.020	0.015
819	0.016	0.012	844	0.020	0.015
820	0.016	0.012	845	0.020	0.015
821	0.016	0.012	846	0.020	0.015
822	0.016	0.012	847	0.020	0.015
823	0.016	0.012	848	0.019	0.014
824	0.016	0.012	849	0.018	0.014
825	0.016	0.012	850	0.018	0.013

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
851	0.018	0.013	876	0.013	0.009
852	0.018	0.013	877	0.012	0.009
853	0.017	0.013	878	0.012	0.009
854	0.016	0.013	879	0.012	0.009
855	0.016	0.013	880	0.012	0.009
856	0.016	0.012	881	0.012	0.009
857	0.016	0.013	882	0.013	0.010
858	0.016	0.012	883	0.013	0.009
859	0.016	0.012	884	0.012	0.009
860	0.016	0.012	885	0.013	0.010
861	0.015	0.012	886	0.013	0.009
862	0.015	0.012	887	0.012	0.009
863	0.014	0.011	888	0.012	0.009
864	0.014	0.011	889	0.012	0.009
865	0.013	0.010	890	0.012	0.009
866	0.013	0.010	891	0.011	0.009
867	0.012	0.009	892	0.011	0.009
868	0.012	0.009	893	0.011	0.008
869	0.012	0.010	894	0.010	0.008
870	0.012	0.009	895	0.010	0.008
871	0.013	0.010	896	0.010	0.008
872	0.013	0.010	897	0.010	0.008
873	0.013	0.010	898	0.010	0.008
874	0.013	0.010	899	0.010	0.007
875	0.013	0.010	900	0.010	0.007

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
901	0.009	0.007	926	0.008	0.007
902	0.009	0.007	927	0.008	0.007
903	0.009	0.007	928	0.009	0.007
904	0.009	0.007	929	0.009	0.007
905	0.009	0.007	930	0.009	0.007
906	0.008	0.007	931	0.009	0.007
907	0.008	0.007	932	0.009	0.007
908	0.008	0.007	933	0.009	0.007
909	0.008	0.007	934	0.009	0.007
910	0.008	0.007	935	0.009	0.007
911	0.008	0.007	936	0.010	0.007
912	0.008	0.007	937	0.010	0.007
913	0.008	0.007	938	0.009	0.007
914	0.008	0.007	939	0.009	0.007
915	0.008	0.007	940	0.009	0.007
916	0.008	0.007	941	0.008	0.007
917	0.008	0.007	942	0.008	0.007
918	0.008	0.007	943	0.008	0.007
919	0.008	0.007	944	0.008	0.007
920	0.008	0.006	945	0.008	0.007
921	0.008	0.007	946	0.008	0.007
922	0.008	0.006	947	0.008	0.007
923	0.008	0.007	948	0.008	0.007
924	0.008	0.007	949	0.008	0.007
925	0.008	0.006	950	0.008	0.007

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DCChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DCChg (mAh)
951	0.009	0.007	974	0.016	0.012
952	0.009	0.007	975	0.016	0.012
953	0.009	0.007	976	0.016	0.012
954	0.009	0.007	977	0.016	0.012
955	0.009	0.007	978	0.016	0.012
956	0.010	0.007	979	0.017	0.013
957	0.010	0.008	980	0.016	0.012
958	0.010	0.008	981	0.016	0.013
959	0.010	0.008	982	0.016	0.012
960	0.010	0.008	983	0.016	0.012
961	0.010	0.008	984	0.016	0.012
962	0.010	0.007	985	0.016	0.012
963	0.010	0.008	986	0.016	0.012
964	0.019	0.003	987	0.016	0.012
965	0.017	0.010	988	0.016	0.012
966	0.015	0.010	989	0.016	0.012
967	0.015	0.011	990	0.016	0.012
968	0.015	0.011	991	0.016	0.013
969	0.015	0.011	992	0.016	0.013
970	0.015	0.011	993	0.016	0.012
971	0.016	0.012	994	0.016	0.012
972	0.016	0.012	995	0.016	0.012
973	0.016	0.012	996	0.016	0.000

D. Data Hasil Pengujian 8 Channel Battery Analyzer Pelat Positif Karbon Aktif Norit 1%

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
1	0,000	0,000	9	3,717	1,786
2	7,606	21,281	10	2,151	1,292
3	23,485	22,071	11	1,424	1,664
4	20,997	17,427	12	1,610	0,628
5	15,795	12,420	13	1,040	0,644
6	8,400	6,363	14	0,759	0,263
7	6,261	3,848	15	0,179	0,000
8	7,679	6,105			

E. Data Hasil Pengujian 8 Channel Battery Analyzer Pelat Positif Karbon Aktif Norit 1,5%

Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)	Cycle	Cap_Chg (mAh)	Cap_DChg (mAh)
1	0	0	13	10,405	10,599
2	17,658	23,069	14	9,474	9,361
3	24,320	23,982	15	7,310	7,156
4	22,346	20,248	16	6,893	6,418
5	17,895	17,081	17	6,112	5,414
6	15,205	14,944	18	3,710	3,328
7	14,243	14,219	19	1,011	0,962
8	13,576	13,467	20	0,564	0,518
9	12,629	12,711	21	0,673	0,611
10	12,842	12,835	22	0,110	0,120
11	11,644	11,921	23	0,067	0
12	11,336	11,628			

BIODATA PENULIS



Andre Dwi Handoyo dilahirkan di Purworejo tanggal 12 Februari 1995. Merupakan anak kedua dari pasangan Handoyo dan Yanti. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SD Kristen Penabur Wacana Purworejo, SMP Negeri 2 Purworejo, dan SMA Negeri 1 Purworejo.

Setelah lulus SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Mesin FTI ITS melalui jalur SBMPTN. Semasa kuliah, penulis mengambil bidang studi Rekayasa Sistem Industri. Penulis pernah menempuh kerja praktik di PT Madubaru.

Penulis aktif dalam berbagai kegiatan kampus baik bidang kepanitiaan ataupun organisasi. Penulis pernah menjadi Ketua Persekutuan Mahasiswa Kristen ITS Tahun 2016/2017. Penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik dengan alamat surel andre.dhan@gmail.com.