

TUGAS AKHIR - TM 141585

ANALISIS PENGARUH PELAPISAN *CARBON MATERIALS* PADA PLAT POSITIF DAN PLAT NEGATIF *LEAD-ACID BATTERY* TERHADAP *CYCLE LIFE*

PUTRI KUSUMA NEGARI
NRP 0211134000070

Dosen Pembimbing
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

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



TUGAS AKHIR - TM 141585

ANALISIS PENGARUH PELAPISAN *CARBON MATERIALS* PADA PLAT POSITIF DAN PLAT NEGATIF *LEAD-ACID* *BATTERY* TERHADAP *CYCLE LIFE*

PUTRI KUSUMA NEGARI
NRP 0211134000070

Dosen Pembimbing
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

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



FINAL PROJECT - TM 141585

**EFFECT ANALYSIS OF CARBON MATERIALS COATING
TO POSITIVE AND NEGATIVE PLATE OF LEAD-ACID
BATTERY TO CYCLE LIFE**

**PUTRI KUSUMA NEGARI
NRP 0211134000070**

Advisor
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

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

**ANALISIS PENGARUH PELAPISAN *CARBON*
MATERIALS PADA PLAT POSITIF DAN PLAT NEGATIF
LEAD-ACID BATTERY TERHADAP *CYCLE LIFE***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Sistem Industri
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh November

Oleh :

Putri Kusuma Negari
Nrp. 0211134000070

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

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



SURABAYA
Januari, 2018

ANALISIS PENGARUH PELAPISAN *CARBON MATERIALS*
PADA PLAT POSITIF DAN PLAT NEGATIF *LEAD-ACID*
BATTERY TERHADAP *CYCLE LIFE*

Nama Mahasiswa : Putri Kusuma Negari
NRP : 2113100070
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstrak

Baterai lead acid memiliki daya minat pasar yang tinggi karena harganya yang ekonomis. Namun, terjadinya sulfation pada baterai lead acid menyebabkan umur pakai yang pendek. Saat ini sudah banyak riset yang dilakukan dalam mencegah sulfation dengan menambahkan carbon materials guna memperluas permukaan dan porositas active mass. Penelitian-penelitian ini umumnya menambahkan karbon dengan cara mencampurkannya kedalam active mass baik pada plat positif dan plat negatif baterai. Untuk menambah efektivitas penggunaan karbon, penelitian ini dilakukan dengan melapisi active mass dengan karbon. Ada dua jenis karbon yang akan dibandingkan yaitu norit dan dibandingkan acetylene black.

Penelitian ini diawali dengan melapisi cell baterai (plat positif dan plat negatif baterai lead acid) dengan acetylene black dan norit. Kemudian penulis menguji sampel yang telah dilapisi acetylene black dan norit dengan menggunakan Battery Analyzer dan Cyclic Voltammetry.

Untuk cell baterai yang dilapisi material karbon yakni norit dan acetylene black menyebabkan cycle life meningkat secara signifikan, yakni dari 9 siklus menjadi 1000 siklus. Sedangkan cell baterai yang dilapisi norit dan acetylene black memiliki perbedaan kapasitas charging dan discharging yang tidak jauh berbeda. Hal ini disebabkan acetylene black berstruktur butiran kecil dengan besar SSA 68 m²/gr membuat plat yang terlapisi mudah bereaksi

dengan elektrolit namun sifat konduktivitas acetylene black yang rendah membuat plat cepat kembali ke proses charging. Berbeda dengan Norit yang memiliki besar SSA 958 m²/gr – 1150 m²/gr membuat permukaan plat memiliki radius kontak yang kecil terhadap elektrolit namun sifat konduktivitas yang tinggi membuat plat cepat bereaksi dengan elektrolit dan memiliki cycle life yang tinggi.

Kata kunci : Acetylene Black, Cycle Life, Lead-Acid Battery, Norit, Sulfation

EFFECT ANALYSIS OF CARBON MATERIALS COATING TO POSITIVE AND NEGATIVE PLATE OF LEAD-ACID BATTERY TO CYCLE LIFE

Student's Name : Putri Kusuma Negari
NRP : 2113100070
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Supervisor : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstract

Lead-acid battery has high market interest because of its low price. But, as sulfation happened to lead-acid battery, it caused using age shortened. Nowadays, lots of researches that have been done to prevent sulfation by adding carbon materials to enlarge surface area and active mass porosity. These researches generally added carbon by mixed it into active mass either positive or negative plate. To increase carbon usage affectivity, this research coated active mass with carbon. There are two types of carbon that will be compared, which are norit and acetylene black.

This research started by coating battery cell (positive and negative plate of lead acid battery) with acetylene black and norit. Then, the samples that have been coated by acetylene black and norit are tested using Battery Analyzer and Cyclic Voltammetry.

Carbon materials such as norit and acetylene black that coated to positive and negative plates of lead-acid battery caused high life cycle to the testing plate. As for capacity affect, testing plate that has been coated by norit has greater battery capacity than the one that has been coated by acetylene black. It is caused acetylene black which has small grain structure that is SSA 68 m²/gr making the coated plate easily reacted to electrolyte but as acetylene black conductivity is lower making the plate back to charging process soon. As with norit that has higher SSA 958

m²/gr - 1150 m²/gr making the plat surface has smaller contact radius to electrolyte but high conductivity making plate has fast reaction to electrolyte and higher cycle life.

Keyword : *Acetyelene Black, Cycle Life, Lead-Acid Battery, Norit, Sulfation*

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan karunia-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. Mama tercinta, dan keluarga besar Groensteen yang selalu memberikan doa dan dukungan yang besar.
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. Fahmi Bamazroe dalam membantu penulis dalam melakukan penelitian tugas akhir
6. Widya, Theresia, Eki, Dilla, Tiffany, Zahra, Amalia, Ajie, Cris dan teman Gen13 yang selalu bersedia memberikan motivasi dan mendengarkan curahan hati penulis.
7. Christina Agustin atas usahanya yang sangat luarbiasa dalam meningkatkan semangat saya untuk mengerjakan tugas akhir ini.
8. Anna, Romario, Delia, Dias, Rexa, Bram dan Nabil yang berjuang bersama di Laboratorium Rekayasa Sistem Industri dan teman-teman Teknik Mesin angkatan 2013 (M56) yang telah berbagi pengalaman 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)

DAFTAR ISI

<i>Abstrak</i>	v
<i>Abstract</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Dasar Teori	7
2.1.1 Definisi Akumulator (<i>Accu</i>)	7
2.1.2 Baterai <i>Lead Acid</i>	7
2.1.3 Reaksi pada Baterai <i>Lead Acid</i>	8
2.1.4 Kerusakan pada Plat Negatif	10
2.1.5 Kerusakan pada Plat Positif.....	12
2.1.6 Carbon Additive	14
2.1.7 <i>Carbon Black</i>	15

2.2 Penelitian Terdahulu.....	18
2.2.1 Masalah yang Dibahas.....	18
2.2.2 Material dan Metode yang Digunakan	19
2.2.3 Hasil Penelitian Pengaruh Karbon terhadap Kapasitas muatan	20
2.2.4 Hasil Penelitian Pengaruh Kombinasi Karbon terhadap Kapasitas Arus.....	21
BAB III.....	25
METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Diagram Alir Penelitian	25
3.2 Studi Literatur	29
3.3 Melakukan Percobaan	29
3.3.1 Peralatan dan Bahan yang digunakan.....	29
3.3.2 Pelapisan <i>Cell</i> Baterai <i>Lead Acid</i>	30
3.3.3 Pengujian dengan <i>8-Channel Battery Analyzer</i>	31
3.3.4 Pengujian dengan <i>Potentiostat</i>	32
3.4 Metode Pengambilan Data	33
3.5 Analisa Data dan Pembahasan	33
3.6 Kesimpulan dan Saran.....	33
BAB IV	35
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Penambahan <i>Material Carbon</i> pada <i>Positive Active Material</i> (PAM) dan <i>Negative Active Material</i> (NAM)	35
4.2 Analisa Perhitungan Kapasitas Plat Positif PT.Indobatt	36
4.3 Pembuatan Cell Baterai	38

4.3.1	Pembuatan <i>Cell</i> Baterai Elektroda Standar	38
4.3.2	Pembuatan <i>Cell</i> Baterai Dilapisi <i>Acetylene Black</i>	40
4.3.3	Pembuatan <i>Cell</i> Baterai Dilapisi Norit	42
4.4	Pengujian Battery Analyzer.....	43
4.4.1	Pengaturan Alat 8 – <i>Channel Battery Analyzer</i>	43
4.4.2	Charging dan Discharging Pengujian Battery Analyzer	44
4.5	Hasil Pengujian	45
4.5.1	Pengujian Plat Standar.....	45
4.5.2	Pengujian <i>Cell</i> Baterai Dilapisi <i>Acetylene Black</i>	46
4.5.3	Pengujian <i>Cell</i> Baterai Dilapisi Norit.....	47
4.5.4	Perbandingan Kapasitas Sampel <i>Cell</i> Baterai Standar, <i>Cell</i> Baterai yang Dilapisi <i>Acetylene Black</i> dan Norit terhadap <i>Cycle Life</i> Baterai	48
4.6	Hasil Pengujian dengan metode <i>Cyclic Voltammetry</i>	53
4.6.1	Hasil Pengujian CV Plat Standar Negatif.....	53
4.6.2	Pengujian CV Plat Standar Positif.....	54
4.6.3	Pengujian CV Plat Negatif Dilapisi <i>Acetylene Black</i> .	55
4.6.4	Pengujian CV Plat Positif Dilapisi <i>Acetylene Black</i> ...	56
4.6.5	Pengujian CV Plat Negatif Dilapisi Norit	57
4.6.6	Pengujian CV Plat Positif Dilapisi Norit.....	58
4.7	Kegagalan dan Kendala Percobaan	60
4.7.1	Protect.....	60
4.7.2	<i>Discharging</i> singkat	61
4.7.3	Noise pada Uji <i>Cyclic Voltammetry</i>	61

BAB V	63
KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	69
BIODATA PENULIS	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Prediksi Nilai Pasar dari Baterai Lead-Acid dalam berbagai segmen aplikasi <i> motive, stationary dan transportation</i> (SLI, start-stop)	2
Gambar 1.2 Pengaruh Deep of Discharge terhadap Usia Baterai..	3
Gambar 2.1 Struktur Satu Sel Baterai <i>Lead-Acid</i>	8
Gambar 2.2 Diagram Aliran Ion dan Elektron pada Sel <i>Lead Acid</i> saat <i>Discharging</i>	9
Gambar 2.3 Potongan Melintang pada Plat Negatif yang Menunjukkan adanya <i>Sulfation</i>	12
Gambar 2.4 Partikel <i>Acetylene Black</i>	16
Gambar 2.5 Serbuk norit	17
Gambar 2.6 <i>Voltammograf</i>	18
Gambar 2.7 Perbandingan Pb, CB-2, AB, dan G pada <i>Cathodic Charge Capacity</i>	21
Gambar 2.8 Kurva <i>Cyclic Voltammetry</i> dengan Kombinasi Bubuk Karbon (a) G dan CB-2, (b) G dan AB, (c) CB-2 dan AB menggunakan Elektroda Pb saat Siklus ke 200	22
Gambar 2.9 Grafik Puncak Arus Katoda dari Karbon dan Kombinasinya menggunakan Elektroda Pb saat Siklus ke 200...	23
Gambar 3. 2 Flowchart diagram alir pengujian <i>battery analyzer</i>	28
Gambar 4. 1 (a) tampak depan plat positif dan plat negatif standar; (b) tampak samping plat standar yang telah dirangkai; (c) sampel uji plat standar	39
Gambar 4. 2 (a) tampak depan plat positif dan plat negatif yang dilapisi <i>acetylene black</i> ; (b) tampak samping plat yang dilapisi	

<i>acetylene black</i> yang telah dirangkai; (c) sampel uji plat yang dilapisi <i>acetylene black</i>	41
Gambar 4. 3 (a) tampak depan plat positif dan plat negatif yang dilapisi norit; (b) tampak samping plat yang dilapisi norit yang telah dirangkai.	43
Gambar 4. 4 Setup pengujian <i>Channel Battery Analyzer</i>	44
Gambar 4. 5 <i>Channel info</i> (a) <i>charging battery analyzer</i> ; (b) <i>disharging battery analyzer</i>	45
Gambar 4. 6 Hasil pengujian plat standar pada <i>8-Channel Battery Analyzer</i>	46
Gambar 4.7 Hasil pengujian plat positif dan plat negatif yang dilapisi <i>acetylene black</i> pada <i>8-Channel Battery Analyzer</i>	47
Gambar 4.8 Hasil pengujian plat positif dan plat negatif yang dilapisi norit pada <i>8-Channel Battery Analyzer</i>	48
Gambar 4.9 Grafik perbandingan (a) kapasitas <i>discharge</i> (b) kapasitas <i>charge</i> sampel plat standar, plat negatif yang dilapisi <i>acetylene black</i> dan norit terhadap <i>cycle life</i>	50
Gambar 4.10 Grafik perbandingan kapasitas <i>discharge</i> sampel plat standar, plat positif yang dilapisi <i>acetylene black</i> dan karbon arang terhadap <i>cycle life</i> ^[22]	51
Gambar 4.11 (a) Grafik perbandingan (a) kapasitas <i>discharge</i> (b) kapasitas <i>charge</i> sampel plat standar, plat positif dan negatif yang dilapisi <i>acetylene black</i> dan norit terhadap <i>cycle life</i>	52
Gambar 4.12 Grafik <i>voltammogram</i> plat standar negatif.....	54
Gambar 4.13 Grafik <i>voltammogram</i> plat standar positif.....	55
Gambar 4.14 Grafik <i>voltammogram</i> plat negatif yang dilapisi <i>acetylene black</i>	56

Gambar 4.15 Grafik <i>voltammogram</i> plat positif yang dilapisi <i>acetylene black</i>	57
Gambar 4.16 Grafik <i>voltammogram</i> plat negatif yang dilapisi norit	58
Gambar 4.17 Grafik <i>voltammogram</i> plat positif yang dilapisi norit	59
Gambar 4.18 <i>Protect</i> pada <i>Battery Analyzer</i>	60
Gambar 4. 19 <i>Discharge</i> singkat	61
Gambar 4.20 Grafik <i>voltammogram</i> yang memiliki <i>noise</i>	62

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Spesifik luas permukaan (SSA), penyetaraan ukuran SSA, densitas dan resistansi listrik dari berbagai karbon.....	5
Tabel 2. 1 Beberapa Contoh <i>Carbon Additive</i>	14
Tabel 2. 2 Variasi Proses Produksi <i>Carbon Black</i>	15
Tabel 4.1 Komposisi Kimia <i>Cell</i> Baterai PT.Indobatt Permai ...	37
Tabel 4.2 Hasil kapasitas sampel pada metode CV	53

(halaman ini sengaja dikosongkan)

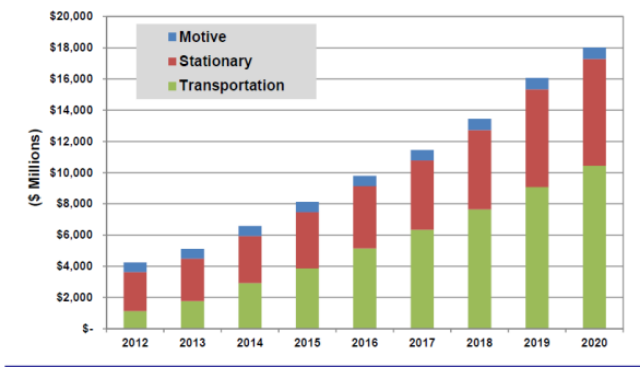
BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan teknologi terbarukan, baterai banyak sekali digunakan dalam kehidupan sehari – hari namun dalam masa penggunaannya terdapat beberapa masalah pada baterai yang menyebabkan baterai cepat rusak sehingga mengharuskan adanya pembaharuan terhadap baterai itu sendiri agar menghasilkan teknologi yang ramah lingkungan dan awet tahan lama.

Baterai *lead acid* (LA) merupakan baterai penyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia yang menggunakan asam timbal (*lead acid*) sebagai bahan kimianya. Baterai *lead acid* (LA) banyak diminati oleh pasar luas karena harganya yang terjangkau, teruji keamanan penggunaan, dan dapat menyiklus ulang 100%. *Lead-acid* baterai telah lama dikenal baik sebagai baterai untuk kendaraan maupun sebagai penyimpan energi stationer. Pada gambar 1.1 terlihat bahwa baterai *lead acid* mengalami kenaikan penjualan dari tahun ke tahun. Industri asam timbal memiliki permintaan yang kian naik dalam memenuhi permintaan perangkat penyimpanan energi. *Pike Research* memperkirakan perkembangan laju pertumbuhan tahunan gabungan (CAGR) *lead acid battery* sebesar 19,8% selama 8 tahun ke depan. Perkiraan selanjutnya bahwa pada tahun 2020 terdapat penjualan sebesar 58% yang berasal dari sektor transportasi yang penjualannya setara dengan 18 miliar dolar. Secara historis penjualan, sektor transportasi ini merupakan salah satu industri yang berpeluang besar untuk industri baterai.^[1]

Chart 1.1 Advanced Lead-Acid Battery Market Value by Application, World Markets: 2012–2020



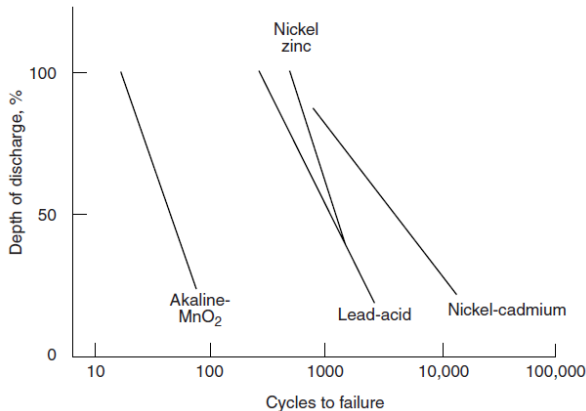
(Source: Pike Research)

Gambar 1.1 Prediksi Nilai Pasar dari Baterai Lead-Acid dalam berbagai segmen aplikasi *motive*, *stationary* dan *transportation* (SLI, start-stop) [1]

Saat ini kendaraan listrik atau *electric vehicle* merupakan teknologi sektor transportasi yang sedang banyak dikembangkan karena beremisi rendah, efisiensi lebih baik dan lebih aman mode keselamatannya dari mobil konvensional. Namun keterbatasan *electric vehicle* ini adalah terbatasnya jarak operasional dan mahalannya harga baterai *lithium* sehingga menyebabkan kendaraan listrik ini kurang diminati oleh masyarakat luas sehingga kurang mampu bersaing dengan kendaraan konvensional pada pasar bebas.^[2]

Pada bidang otomotif, baterai digunakan maksimum 20% dari *depth of discharge* (DoD). Dengan demikian untuk penggunaan yang lebih besar harus menggunakan baterai yang memiliki kapasitas DoD tinggi dan memiliki *cycle life* yang tahan lama. Pada gambar 1.2 menunjukkan usia beberapa jenis baterai pada DoD yang berbeda. Terlihat bahwa semakin tinggi mode DoD yang digunakan maka semakin pendek usia baterai. Pada grafik ditunjukkan baterai jenis nikel lebih unggul dalam *life cycle*

sehingga baterai nikel kadmium banyak digunakan dalam sektor transportasi elektrik.



Gambar 1.2 Pengaruh Deep of Discharge terhadap Usia Baterai [3].

Pada pengoperasian kendaraan *hybrid* terdapat istilah *High Rate Partial Stage of Charge* (HRPSoC) yakni kondisi dimana baterai harus mampu *charge* dan *discharge* dengan frekuensi yang tinggi dalam keadaan setengah terisi muatan. Keadaan ini terjadi akibat pengoperasian motor listrik dan *engine* konvensional yang bekerja secara bergantian, dan adanya *regenerative braking*^[4,5]. *Regenerative braking* merupakan sistem pengereman kendaraan yang menghasilkan energi kinetik menjadi energi listrik yang disimpan pada baterai. Baterai *lead acid* yang dioperasikan pada kondisi HRPSoC akan mudah sekali rusak karena terjadi *sulfation* pada elektroda negatifnya^[6], dan naiknya *internal resistance* pada baterai serta kekeringan.^[7]

Berdasarkan mekanisme kerusakan diatas, Nakamura et.al. menyarankan untuk menambahkan karbon hitam (*black carbon*) sebagai *additive material* pada bahan *Negative Active Mass* (NAM)^[8,9]. Penambahan karbon hitam ini memperlambat pembentukan *sulfation* dan meningkatkan kemampuan serap

dalam proses *charging*. Selain itu peneliti lain seperti Fernandez, Calabek, Pavlov, Saravanan, dan Moseley juga menyatakan bahwa penambahan bahan karbon ini meningkatkan *cycle life*, kapasitas *discharge* dan kemampuan serap *charge*, mengurangi *energy losses*, menghambat pembentukan kristal PbSO_4 , dan membentuk jaringan konduktor sehingga mempermudah terurainya *lead sulfate*^[2,4,17,18]. Pada beberapa penelitian terbaru dijelaskan bahwa keuntungan penggunaan karbon tidak hanya pada elektroda negatif saja namun juga pada elektroda positif yang dapat memberikan hasil yang baik.^[10,11]

Pada penelitian ini *carbon materials* yang digunakan adalah norit dan *acetylene black* yang dilapisi pada permukaan *cell* baterai. Menurut Jaiswal, *acetylene black* yang memiliki densitas rendah tetap saja resistansi listriknya lebih tinggi dibanding *carbon black* yang memiliki densitas yang lebih besar^[20]. Semakin tinggi nilai resistansi maka akan semakin buruk kemampuan dalam mengalirkan elektron. Jika kemampuan daya pengisian (*charge*) akibat resistansi yang rendah, maka akan sering terjadinya proses pengisian (*charge*). Dengan kata lain, semakin sering baterai melakukan pengisian maka akan semakin mempercepat pembentukan kristal PbSO_4 . Selain itu Jaiswal juga mengatakan bahwa penggunaan *carbon black* ini memperbaiki performa HRPSoC baterai dengan ditandai adanya kontak permukaan yang baik antara timbal dan karbon yakni partikel karbon besar berjumlah puluhan mikron terikat pada *backbone* NAM. Berikut tabel 1 menampilkan besar ukuran spesifik luas permukaan (SSA), densitas dan resistansi listrik dari berbagai karbon.

Tabel 1. 1 Spesifik luas permukaan (SSA), penyetaraan ukuran SSA, densitas dan resistansi listrik dari berbagai karbon

Carbon type	SSA (m ² /g)	SSA equivalent size (nm)	App. density (g/cc)	Tap density (g/cc)	Resistance (Ω/g)
G	8.4	170	0.21	0.62	2.5
CB-1	29.5	48	0.12	0.44	3.7
AB	96.9	15	0.03	0.07	14.9
CB-2	108.0	13	0.18	0.38	5.0
CB-3	133.1	11	0.18	0.39	6.5

Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa *acetylene black* memiliki SSA dan nilai densitas yang rendah dibandingkan dengan *carbon black* lainnya sehingga menyebabkan nilai resistansinya paling tinggi dan mepercepat pembentukan *sulfation*. Menariknya, pada penelitian terdahulu *Acetylene black* mampu meningkatkan performa baterai^[20]. Dengan demikian diperlukannya penelitian dan analisa penggunaan *acetylene black* maupun jenis karbon lainnya pada baterai *lead acid* agar meningkatkan *cycle life* baterai *lead acid*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang terdapat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan norit dan *acetylene black* pada *cell baterai* agar meningkatnya performa dan *cycle life lead-acid battery*?
2. Bagaimana efek dari *cell* baterai yang dilapisi *carbon materials* berupa norit dan *acetylene black* dengan plat baterai standar terhadap performa dan *cycle life lead-acid battery*?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penambahan norit dan *acetylene black* pada *cell* baterai agar meningkatnya performa dan *cycle life lead-acid battery*

2. Membandingkan efek dari *cell* baterai yang dilapisi *carbon materials* berupa norit dan *acetylene black* dengan plat baterai standar terhadap performa dan *cycle life lead-acid battery*.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Variabel yang mempengaruhi umur hidup *lead acid battery* seperti *charging voltage*, *charging current*, temperatur kerja, dan kepekatan larutan asam menggunakan angka standar umum yang biasa digunakan.
2. Plat positif dan plat negatif yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat positif dan plat negatif milik PT. Indobatt.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui pengaruh penambahan norit dan *acetylene black* pada *cell* baterai agar meningkatnya performa *lead-acid battery* terhadap *cycle life* baterai
2. Dapat membandingkan efek dua jenis *carbon materials* yakni norit dan *acetylene black* terhadap performa *lead-acid battery* terhadap *cycle life* baterai
3. Dapat memberikan komposisi tambahan kepada PT. Indobatt dalam proses produksi aki agar meningkatkan *cycle life* baterai *lead-acid*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar teori beserta tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan, prosedur dan langkah-langkah dalam melakukan penelitian. Diharapkan supaya permasalahan pada penelitian ini dapat terpecahkan dan terselesaikan dengan baik.

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Definisi Akumulator (*Accu*)

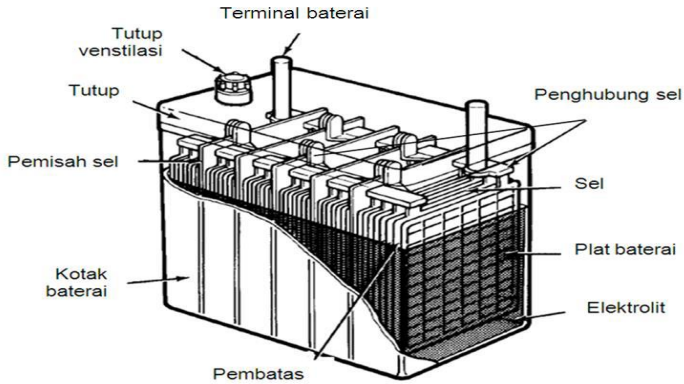
Akumulator atau aki merupakan sebuah alat yang dapat menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia. Aki termasuk sel sekunder, karena selain menghasilkan arus listrik, aki juga dapat diisi arus listrik kembali. Secara sederhana aki merupakan sel yang terdiri dari elektrode positif dan elektroda negatif.

2.1.2 Baterai *Lead Acid*

Baterai *lead acid* (LA) merupakan baterai penyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia yang menggunakan asam timbal (*lead acid*) sebagai bahan kimianya. Baterai *Lead Acid* masuk kategori *rechargeable battery*. *Lead Acid battery* terbagi menjadi dua jenis, yaitu *starting battery* dan *deep cycle battery*. *Starting battery* merupakan jenis aki yang berfungsi untuk menyalakan mesin sehingga menghasilkan arus listrik yang tinggi dalam waktu singkat. Sedangkan *deep cycle battery* merupakan baterai yang dirancang untuk menghasilkan energi (arus listrik) yang stabil (tidak sebesar *Starting Battery*) namun dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama.

Baterai *lead acid* terdiri dari kotak baterai, terminal baterai, elektrolit baterai, lubang elektrolit baterai, tutup baterai, pembatas antar sel, penghubung antar sel, sel baterai dan elektroda baterai. Satu baterai terdiri dari beberapa sel baterai yang mana tiap sel menghasilkan tegangan 2 – 2,2 volt. Pada umumnya aki memiliki 3 atau 6 sel yang disusun seri agar dapat membentuk 6 atau 12 volt. Elektroda negatif pada aki merupakan timbal murni

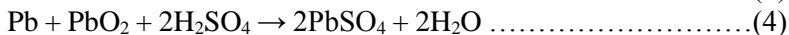
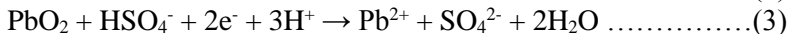
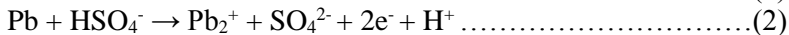
(Pb) dan elektroda positifnya berupa timbal oksida (PbO_2). Elektrolit yang digunakan pada aki adalah larutan asam sulfat (H_2SO_4). Diantara dua elektroda terdapat lapisan pembatas antar sel sebagai isolator untuk mencegah terjadinya arus pendek antar elektroda serta sebagai jalur pertukaran ion pada elektroda.



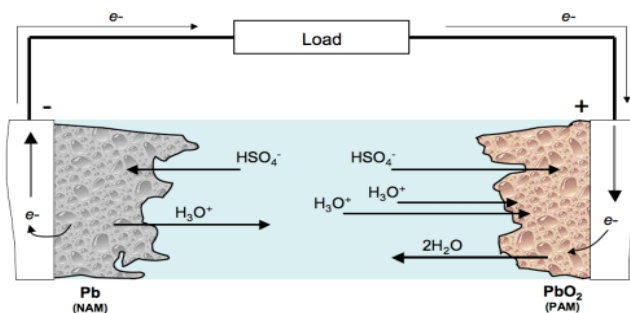
Gambar 2.1 Struktur Satu Sel Baterai *Lead-Acid* [13]

2.1.3 Reaksi pada Baterai *Lead Acid*

Sel baterai *lead acid* menyimpan energi elektrokimia pada massa aktif yang melekat pada plat elektroda positif (*Positive Active Mass*) dan negatif (*Negative Active Mass*). Struktur massa aktif pada elektroda tersebut berpori dan ketebalannya diatur sesuai dengan kegunaan baterai. Penambahan ketebalan massa aktif dapat mempengaruhi besar kapasitas dan *cycle life* baterai. Saat sirkuit eksternal dihubungkan ke kedua elektroda, elektron akan berpindah dari massa aktif yang satu ke massa aktif yang lain sehingga komposisi pada masing-masing elektroda akan berubah. Pada saat yang sama, elektrolit ikut bereaksi dengan pergerakan ion antar massa aktif. Reaksi elektrokimia ini mengakibatkan baterai menghasilkan energi listrik untuk beban yang sudah disambungkan selama *discharge*, dan menerima energi listrik dari sumber listrik pada saat kondisi *charge*^[14]. Berikut reaksi kimia pada kondisi *discharge* dan *charge*:



Pada persamaan (1) menunjukkan reaksi yang terjadi pada larutan elektrolit asam sulfat (H_2SO_4) dan air (H_2O). H_2O tersebut memecah satu ion H^+ pada asam sulfat, sehingga membentuk hydronium (H_3O^+). Pada reaksi hidrasi elektroda negatif (persamaan 2) timbal murni (Pb) bereaksi dengan ion asam sulfat sehingga menghasilkan PbSO_4 . Massa aktif negatif bereaksi melepaskan elektron, dan bergerak melalui elektroda negatif dan sambungan antar sel. Sesampainya elektron pada elektroda positif akan bereaksi dengan massa aktif positif dan elektrolit. Pada persamaan (3), massa aktif positif bergabung dengan ion sulfat membentuk HSO_4^- , dan ion hidrogen yang berasal dari H_3O^+ dan elektron membentuk PbSO_4 dan air yang diilustrasikan pada gambar 2.2. Seluruh proses ini berawal dari reaksi oksidasi dan reduksi pada elektroda, dimana reaksi tersebut memicu perpindahan elektron, yang kemudian akan menghasilkan pengendapan timbal sulfat (PbSO_4)^[14].

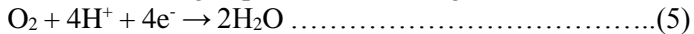


Gambar 2.2 Diagram Aliran Ion dan Elektron pada Sel *Lead Acid* saat *Discharging*[14]

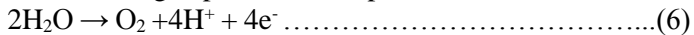
Untuk kondisi *charge* pada baterai terdiri atas reaksi primer dan reaksi sekunder. Reaksi sekunder menggunakan

sebagian besar arus yang diperoleh dari sumber, namun tidak banyak berkontribusi dalam mengembalikan timbal sulfat menjadi timbal murni (Pb). Hal tersebut mengakibatkan efisiensi *charge* baterai berkurang. Reaksi *charge* terjadi pada *positive active material* (PAM) dan *negative active material* (NAM). Pada PAM, ion bereaksi dengan molekul air untuk membentuk timbal oksida (PbO₂) dan asam sulfat (H₂SO₄). Pada proses ini, terbentuk dua elektron yang berpindah menuju NAM melalui eksternal sirkuit. NAM berubah kembali menjadi timbal berpori dan asam sulfat dengan reaksi pemecahan dan pengendapan.

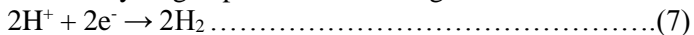
Kombinasi oksigen pada elektroda negatif:



Evolusi oksigen pada elektroda positif:



Evolusi hydrogen pada elektroda negatif:



Kombinasi ulang oksigen terjadi pada plat negatif seperti pada persamaan (5) yang memungkinkan baterai menjadi “*maintenance free*”. Reaksi sekunder pada persamaan (6) dan (7) terjadi ketika arus *charge* tidak mencukupi dan berakibat kurangnya air atau ion H⁺ di dalam material aktif.

2.1.4 Kerusakan pada Plat Negatif

Kerusakan yang sering terjadi pada plat negatif pada baterai *lead acid* adalah *sulphation* dan pengikisan pada elektroda.

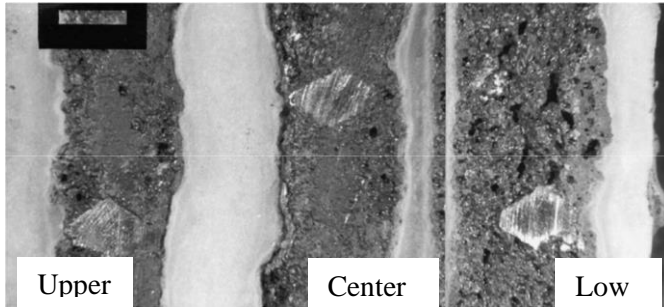
a) *Sulfation*

Sulfation merupakan proses pembentukan kristal PbSO₄ yang bersifat permanen dengan disertainya pengurangan daya konduktivitas plat terhadap elektrolit. *Sulfation* terjadi karena adanya elektroda negatif yang secara efektif mengalami depolarisasi akibat proses rekombinasi oksigen pada baterai *lead acid*. Ketika elektroda pada kondisi *discharged*, massa aktif (PbO₂

dan Pb) bertransformasi menjadi PbSO_4 . Setelah baterai mengalami *discharge* namun tidak segera diisi (*charging*), maka akan terbentuk kristal sulfat. Laju rekristalisasi yang terbentuk berbanding lurus dengan kelarutan ion dan temperatur. Sedangkan kelarutan ion sulfat akan meningkat seiring dengan penurunan konsentrasi asam^[16].

Ketika ion sulfur digunakan selama proses *discharge* akan terjadi penurunan konsentrasi asam yang berbanding lurus dengan penurunan kondisi pengisian (*charge*). Sehingga kondisi saat *charge* dimana konsentrasi asam menurun dan kelarutan sulfat tinggi akan mempercepat kerusakan baterai sehingga tumbuhnya kristal sulfat.

Sulfation dapat mengurangi kapasitas, dan tegangan (*voltage*) selama proses *discharge* juga akan mengubah nilai tegangan menjadi semakin kecil. *Sulfation* yang besar (terlihat seperti pada gambar plat bagian lower) menandakan bahwa area pada elektroda tersebut akan menjadi tidak aktif sehingga elektroda tidak dapat digunakan. Selain itu *sulfation* terjadi akibat efek stratifikasi asam. pada proses *charging*, elektroda akan bereaksi dan kristal sulfat akan menggumpal sehingga mengurangi massa aktif dan kapasitas elektroda. *Sulfation* dapat dikurangi jika ketika *discharge* diikuti dengan proses *charging* yang baik. Stratifikasi asam akan berdampak saat proses *charging* yang tidak sempurna terjadi di bagian bawah elektroda, sehingga *sulfation* akan terjadi disana. Efek dari *sulfation* terlihat jelas di potongan melintang plat negatif seperti gambar 2.3. Potongan dilakukan di bagian atas (*upper*) elektroda, bagian tengah (*central*) elektroda, dan bagian bawah (*lower*) elektroda.



Gambar 2.3 Potongan Melintang pada Plat Negatif yang Menunjukkan adanya *Sulfation* [15]

b) Pengikisan Elektroda (*Erosion*)

Timbal sulfat memiliki volume per mol 1,94 kali lebih besar dibanding timbal dioksida dan 2,4 kali lebih besar dibanding timbal murni (Pb). Pada saat siklus penggunaan baterai, kedua elektroda akan menerima beban mekanik yang timbul akibat 50% dari perubahan material aktif menjadi timbal sulfat selama proses *discharge*. Perubahan volume yang besar ini menyebabkan lepasnya material aktif pada elektroda. Ketika material aktif terlepas dari elektroda oleh pergerakan gas atau udara akan membentuk endapan di dasar baterai yang menyebabkan kapasitas baterai akan berkurang.

2.1.5 Kerusakan pada Plat Positif

a) *Short Circuit*

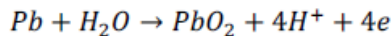
Piring penghubung pada elektroda positif di atas massa aktif yang juga rentan terkena karat. Massa yang terkorosi dalam jumlah besar dapat jatuh ke elektroda dan menyebabkan sirkuit pendek. Risiko ini dapat dihilangkan dengan memasukkan pemisah (*separator*) dan diletakkan sepanjang elektroda.

Terdapat risiko baru pada baterai *lead acid* yakni dendrit (mikroskopis sirkuit pendek) dapat tumbuh dari elektroda positif ke elektroda negatif melalui separator^[16]. Pertumbuhan

dendrit tersebut dapat dipercepat dengan memperlama jangka waktu rendah pengisian (*charge*) dan konsentrasi asam yang rendah.

b) *Grid Corrosion*

Grid corrosion terjadi akibat elektroda positif memiliki potensial yang lebih tinggi dari pada elektroda negatif. Potensial yang tinggi ini secara termodinamika menyebabkan elektroda menjadi tidak stabil dan menyebabkan reaksi oksidasi secara terus menerus. Reaksi oksidasi ini menghasilkan PbO_2 yang stabil. Lapisan korosi (oksidasi) yang terbentuk mengurangi laju korosi grid secara signifikan namun tidak mampu menghentikan proses keduanya secara bersamaan. *Grid corrosion* pada elektroda positif akan membuat korosi pada Pb menjadi PbO_2 menurut reaksi berikut:



PbO_2 yang dihasilkan merupakan lapisan yang cukup rapat untuk mempertahankan timbal dari korosi yang lebih lanjut. Proses korosi terjadi setelah lapisan pelindung pecah sehingga korosi terjadi secara prematur sedikit demi sedikit kedalam metal dengan laju yang linier^[16].

Grid pada baterai digunakan sebagai rangka dan perantara listrik pada material aktif positif dan negatif. Produk hasil korosi (PbO_2) memerlukan volume yang lebih besar daripada timbal murni. Volume ekspansi ini menyebabkan gaya mekanik pada grid yang menyebabkan deformasi dan tegangan. Deformasi ini disebut pertumbuhan (*growth*).

Pada kondisi awal korosi, pertumbuhan grid lambat atau dengan kata lain tidak dapat diukur tetapi seiring menebalnya korosi tersebut pada grid, laju korosinya menjadi *steady*. Pada kondisi ini terjadi kehilangan kontak antara grid dengan material aktif dan meningkatkan kemungkinan konseleting dan akhirnya menimbulkan kegagalan baterai.

2.1.6 Carbon Additive

Carbon additive merupakan bahan karbon tambahan yang digunakan pada proses produksi suatu produk. Terdapat dua jenis karbon yang digunakan sebagai bahan *additive* pada industri baterai adalah karbon dan grafit. Karbon terdiri atas *carbon black*, dan karbon aktif. Sedangkan pada grafit terdapat beberapa bentuk yang dapat digunakan yaitu serpihan grafit yang di murnikan, *expanded graphites*, dan grafit sintesis berbentuk bola atau modular. Tabel 2.1 menunjukkan beberapa *additive karbon* (karbon dan grafit) yang tersedia dan biasa digunakan pada NAM. Ukuran dan permukaan carbon additive yang bervariasi menyebabkan perbedaan reaksi elektrokimia pada NAM pada baterai *lead acid*.

Tabel 2. 1 Beberapa Contoh *Carbon Additive*[4]

Product	Manufacturer	Type of material	Signature	Specific characteristics	
				Particle size	BET surface
PRINTEX® series					
PRINTEX® A	Degussa	Carbon black	PR1	41 nm	45 m ² g ⁻¹
PRINTEX® U	Degussa	Carbon black	PR2	25 nm	100 m ² g ⁻¹
PRINTEX® F85	Degussa	Carbon black	PR3	16 nm	200 m ² g ⁻¹
PRINTEX® 90	Degussa	Carbon black	PR4	14 nm	300 m ² g ⁻¹
Electrochemically active carbons (EACs)					
NORIT AZO	NORIT	Activated carbon	AC1	100 µm	635 m ² g ⁻¹
VULCAN XC72R	Cabot Corporation	Carbon black	AC2	30 nm	257 m ² g ⁻¹
Black Pearls 2000	Cabot Corporation	Carbon black	AC3	12 nm	1475 m ² g ⁻¹
PRINTEX® XE2	Degussa	Carbon black	AC4	30 nm	910 m ² g ⁻¹

Nakamura et al.^[8] mengatakan bahwa *carbon black* yang ditambahkan pada NAM dapat menghambat terjadinya *sulphation* pada plat negatif baterai dengan kondisi *high-rate partial-state-of-charge* (HRPSoC). Pengujian ini dilakukan pada baterai kendaraan hybrid. Pengujian dengan metode HRPSoC menunjukkan efek penambahan karbon terhadap performa pada plat negatif baterai *lead acid*.

Selain itu penelitian yang dilakukan Moseley et al.^[4] menyatakan beberapa hipotesa karakteristik karbon terhadap performa baterai pada kondisi HRPSoC yakni karbon dapat menambah konduktivitas pada NAM, karbon menyebabkan

terbentuknya partikel PbSO_4 yang mudah larut dan menghambat pertumbuhan Kristal PbSO_4 , beberapa karbon membentuk ampas yang dapat menghambat reaksi evolusi hidrogen pada plat negatif dan meningkatkan efisiensi ketika proses *charge*, karbon dapat menjadi pompa *electro-osmotic* yang membantu difusi asam pada NAM saat *charge* dan *discharge*, dan *carbon black* memiliki kapasitas yang tinggi terhadap NAM karena luas permukaan yang dimilikinya.

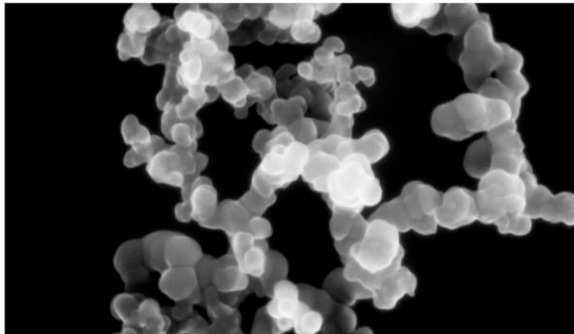
2.1.7 Carbon Black

Carbon black merupakan sebuah serbuk yang sangat halus dengan luas permukaan sangat besar dan terdiri hanya dari atom karbon. *Carbon black* sebagai material nano yang paling banyak digunakan dan rangkanya berukuran dari belasan sampai ratusan nanometer. *Carbon black* terdiri dari komposisi karbon (96 - 99,5% wt), hidrogen (0,2 - 1,3% wt), oksigen (0,2 - 0,5% wt), nitrogen (0 - 0,7% wt), sulfur (0,1 - 1% wt) dan abu sisa (<1%). Carbon black dibentuk dari unsur karbon yang diproduksi dengan pembakaran parsial atau pirolisis terkontrol dari hidrokarbon. Dalam pembuatannya terdapat beberapa proses yang telah berkembang, diantaranya *oil-furnace*, *lampblack*, *thermal black*, *acetylene black*, dan *chanel black*. *Carbon black* banyak digunakan sebagai penguat bahan karet, sebagai pigmen hitam dan karena konduktivitasnya digunakan dalam beberapa alat elektrik. Berikut tabel 2.2 komposisi *carbon black*:

Tabel 2. 2 Variasi Proses Produksi *Carbon Black*

		Thermal-Oxidative Decomposition			Thermal Decomposition	
		Lamp Black	Gas Black	Furnace Black	Thermal Black	Acetylene Black*
Nitrogen Surface Area	m ² /g	16-24	90-500	15-450	6-15	approx. 65
Iodine Adsorption	mg/g	23-33	n.a.	15-450	6-10	approx. 100
Primary Particle Size (arithm. mean)	nm	110-120	10-30	10-80	120-500	32-42
OAN	ml/100 g	100-120	n.a.	40-200	37-43	150-200
Jetness M _v		200-220	230-300	210-300	170-190	225
Tint Strength	%	20-35	90-150	50-160	approx. 20	n.a.
Volatile Matter	%	1-2.5	4-24	0.5-6	0.5-1.0	0.5-2,0
pH **		6-9	4-6	6-10	7-9	5-8*

Acetylene black merupakan karbon hitam yang terbentuk dari proses lanjutan pembuatan *carbon black*. Proses pembuatan *acetylene black* ini yakni dengan cara dekomposisi eksotermik dari gas karbit yang menghasilkan karbon dan hidrogen pada temperatur tinggi. Biasanya ditambahkan zat *hydrocarbon* ke dalam gas karbit untuk mencegah peningkatan temperatur akibat reaksi eksotermik. Setelah reaksi campuran sudah dingin, *carbon black* dipisahkan dari hidrogen. Selanjutnya *acetylene black* dibedakan berdasarkan *thermal-oxidative carbon black*. Meskipun ukuran partikel *acetylene black* terletak pada batas 30 sampai 40 nm, namun bentuknya tidak berbentuk bola sempurna. Pada gambar 2.4 terlihat bentuk *acetylene black* seperti bola kecil yang tidak sempurna dan tak beraturan.



Gambar 2.4 Partikel *Acetylene Black*

2.1.8 Norit

Norit merupakan merek dagang karbon aktif atau *carbo activus*. Norit terbuat dari karbon yang berasal dari tumbuh-tumbuhan yang diaktifkan dengan proses lanjutan. Norit merupakan salah satu dari jenis *carbo adsorben* dengan karakteristik menyerap zat yang ada disekitarnya. Besar pori norit tergolong dalam pori besar (*macropores*) yakni sebesar 50 nm.

Proses aktivasi norit yakni dengan mencampurkan bahan baku karbon aktif seperti kayu, batu bara, kulit kacang, atau serbuk gergaji dengan asam secara kimiawi atau dengan mengukus bahan

baku karbon dengan uap atau gas pada temperatur tinggi. Hasil reaksi ini adalah arang berwarna hitam legam, tidak berbau dan tidak berasa.



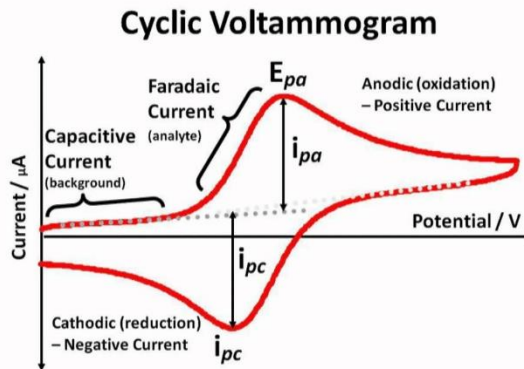
Gambar 2.5 Serbuk norit

2.1.9 Voltammetry

Voltametri merupakan salah satu teknik dalam analisis elektrokimia. Voltametri adalah suatu elektrolisis dimana arus direkam sebagai suatu fungsi potensial elektroda kerja. Potensial dari mikro elektroda kerja divariasikan dan arus yang dihasilkan dicetak sebagai fungsi dari potensial. Hasil cetakan ini disebut voltamograf. Voltametri berkembang pesat dibanding metode analisis lain, hal ini dikarenakan kelebihan dalam sensitifitas, selektifitas, kesederhanaan dan kemudahan penganalisisan.

Voltametri mempelajari hubungan voltase arus-waktu selama elektrolisis dilakukan dalam suatu sel, di mana suatu elektroda mempunyai luas permukaan yang relatif besar, dan elektroda yang lain (elektroda kerja) mempunyai luas permukaan yang sangat kecil dan seringkali dirujuk sebagai mikroelektroda. Mikroelektroda ini biasanya dibuat dari bahan tak reaktif yang menghantar listrik seperti emas, platinum atau karbon, dan dalam beberapa keadaan dapat digunakan suatu elektroda merkuri

tetes (D.M.E) untuk kasus istimewa ini teknik itu dirujuk sebagai polarografi. Voltametri merupakan metoda elektrokimia yang mengamati perubahan arus dan potensial. Potensial divariasikan secara sistematis sehingga zat kimia tersebut, mengalami oksidasi dan reduksi dipermukaan elektroda.



Gambar 2.6 Voltammograf

2.2 Penelitian Terdahulu

2.2.1 Masalah yang Dibahas

Dalam perkembangan baterai *lead acid*, sudah banyak penelitian yang dilakukan oleh peneliti dunia, terutama untuk pengujian plat negatif baterai. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Pavlov pada tahun 2009 yakni untuk mengetahui efek *cycle life performance* baterai. Penelitian ini menggunakan jenis material *activated carbon* dan tiga jenis *carbon black* dengan masing – masing lima variasi konsentrasi serta plat negatif baterai VRLA dalam kondisi HRPSoC. Hasil studi yang diperoleh adalah *Electrochemically Active Carbon* (EAC) yang memiliki *specific surface area* (SSA) yang tinggi akan memiliki *cycle life* yang tinggi pula. Selain itu Pavlov juga menyatakan EAC merupakan katalis penekan terbentuknya kristal PbSO_4 .

Selanjutnya penelitian ini dikembangkan oleh Jaiswal. Jaiswal melakukan studi untuk meningkatkan performa baterai *lead acid* pada siklus HRPSoC. Studi ini menggunakan *cyclic voltammetry* (CV) untuk mengevaluasi performa *acetylene black*, grafit dan beberapa *carbon black* serta menemukan metode yang tepat dalam memisahkan antara *capacitive* (hambatan) dan *Faradaic* (reaksi kimia) saat *total charge* pada plat negatif baterai. Karbon menghasilkan *double layer capacitance* yang bertindak sebagai penyangga kondisi *charge* dan *discharge* pada plat negatif. Karbon juga berperan membatasi pertumbuhan kristal PbSO_4 pada NAM serta menghambat evolusi hidrogen. Penggunaan variasi karbon ini dilakukan karena adanya pengaruh ukuran partikel karbon yang menyebabkan meningkatnya performa HRPSoC.

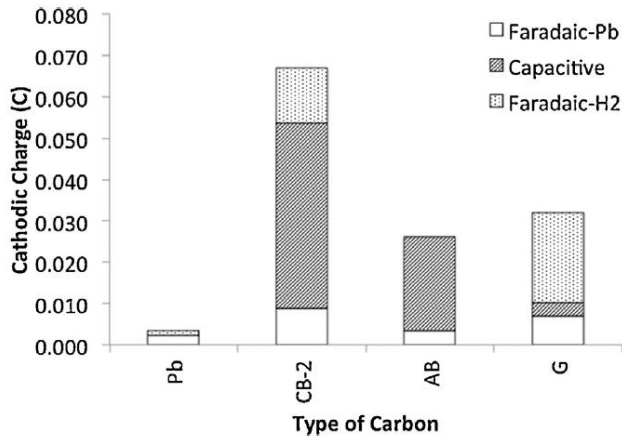
2.2.2 Material dan Metode yang Digunakan

Ada tiga macam karbon yang digunakan pada eksperimen ini yakni *carbon black* (CB-1, CB-2, CB-3), *acetylene black* (AB) dan grafit (G). Sampel serbuk karbon masing – masing sebanyak 10 mg dimasukkan pada lapisan AGM. Sedangkan plat elektroda yang digunakan adalah timbal (Pb) dan karbon (C). Elektroda Pb dicetak dari 99,999% logam murni, sedangkan elektroda karbon menggunakan *dry AA pencil-cell* yang baru. Elektrolit yang digunakan adalah H_2SO_4 dengan grafitasi spesifik sebesar 1.28g/cc.

Metode yang digunakan pada eksperimen ini adalah *cyclic voltammetric*. Studi *cyclic voltammetric* dilakukan dengan 3 konfigurasi elektroda dengan $\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{SO}_4$ (MSE) sebagai *reference-electrode* dan Pt-foil sebagai *counter-electrode* yang menggunakan *Met-rohm Autolab Type III Potentiostat/Galvanostat*. Pengamatan dilakukan 20 mV/detik dari -1.3 V hingga -0.7 V dengan memperhatikan MSE. Selanjutnya dilakukan pengisian kapasitas (coloumb) menggunakan elektroda Pb yang dipecah menjadi reaksi *Faradaic-Pb* (reaksi Pb/PbSO_4), *capacitive* (adsorpsi/ desorpsi *double layer*) dan *Faradaic-H₂* (perubahan gas).

2.2.3 Hasil Penelitian Pengaruh Karbon terhadap Kapasitas muatan

Kapasitas muatan *charge* (katodik) ketiga karbon menggunakan elektroda Pb terdiri atas Faraday-Pb, hambatan dan kontribusi Faraday-H₂ pada siklus ke 20 yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Dibandingkan dengan *bare Pb-electrode*, seluruh karbon menghasilkan kapasitas pembebanan yang lebih besar secara signifikan. Kapasitas muatan katodik Faraday-Pb untuk CB-2, AB, G, dan *bare Pb* selama siklus reduksi sebesar 8.9, 3.5, 6.9, dan 2.3 mC. Sebagai tambahan, CB-2 dan AB memperkuat kapasitas muatan (*charge*) bagi proses hambatan akibat adsorpsi/desorpsi pada permukaan karbon. Meski SSA pada CB-2 dan AB serupa, namun profil bentuk dan besar kapasitas keduanya sangat berbeda dimana nilai kapasitas muatan CB-2 (44.9 mC) sekitar dua kali lebih besar dibandingkan AB (22.6 mC). Bubuk AB lebih sulit menyatu dan memiliki tahanan tiga kali lebih besar dibandingkan bubuk CB-2. Perilaku CV menunjukkan alur konduksi antara lapisan AB dengan antarmuka Pb/AB terhalang. Sebagai perbandingan, bubuk G tidak menunjukkan perilaku kapasitif dikarenakan luasan permukaan yang jauh lebih kecil, namun menunjukkan karakteristik gas yang lebih signifikan.

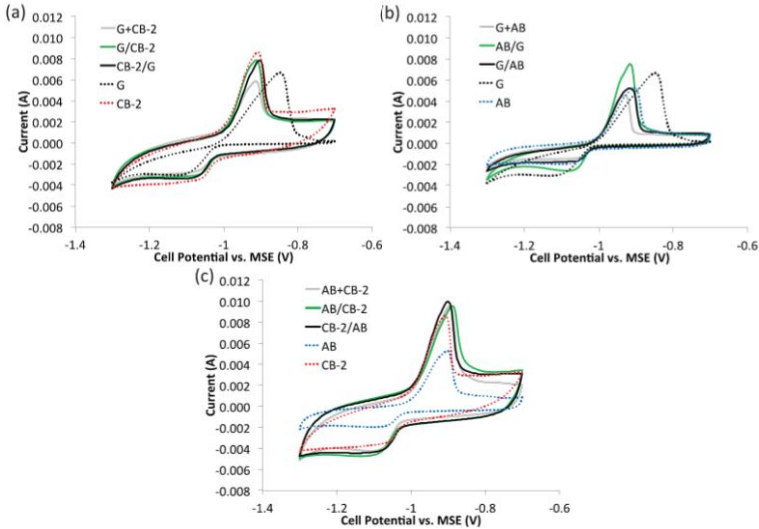


Gambar 2.7 Perbandingan Pb, CB-2, AB, dan G pada *Cathodic Charge Capacity*[19]

2.2.4 Hasil Penelitian Pengaruh Kombinasi Karbon terhadap Kapasitas Arus

Dalam meningkatkan performa baterai, dilakukan pencampuran berbagai jenis karbon yang berbeda pada NAM dimana studi ini sudah banyak dilakukan oleh peneliti lainnya. Untuk menstimulasi sistem tersebut, dapat terlihat dari kobinasi performa CB-2, AB, dan G sebagai campuran fisik dan lapisan ganda dengan total berat 10 mg pada rasio 50:50. Hasil CV pada siklus ke 200 dapat dilihat pada Gambar 2.6. Dapat diamati bahwa perilaku hambatan dapat langsung diubah dengan melepaskan kombinasi karbon, tidak hanya besarnya namun juga profil bentuk. Kombinasi CB-2 dan G menunjukkan kapasitansi menengah antara CB-2 dan G secara individual, sesuai dengan harapan pada rasio 50:50. Menariknya, kombinasi AB dan G menunjukkan kapasitansi AB. Kapasitansi (satu) lapisan AB sama pada 5 mg dan 10mg, menunjukkan performa AB dibatasi oleh konduktivitas dan *packing density* yang rendah. Di sisi lain,

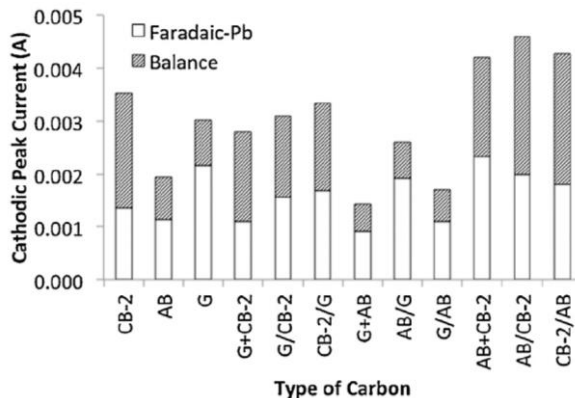
kombinasi CB-2 dan AB menunjukkan kapasitansi yang lebih besar dibandingkan CB-2 dan AB secara individual, mengindikasikan keefektifan konduktivitas tinggi CB-2 memberikan konektivitas bagi AB.



Gambar 2.8 Kurva *Cyclic Voltammetry* dengan Kombinasi Bubuk Karbon (a) G dan CB-2, (b) G dan AB, (c) CB-2 dan AB menggunakan Elektroda Pb saat Siklus ke 200.

Tidak seperti perilaku kapasitif, reaksi Faraday-Pb untuk kombinasi bukan sekedar jumlah sederhana komponen seperti pada gambar 2.7. Pada awalnya, menggabungkan karbon dengan arus Faraday-Pb tertinggi dengan karbon lain dengan kapasitif arus tertinggi diharapkan dapat membentuk kombinasi dengan total arus tertinggi, seperti contoh kombinasi G dengan CB-2. Salah satu kemungkinan alasan ialah dikarenakan perilaku arus Faraday pada reaksi oksidasi dan reduksi Pb/PbSO₄ sebagian dibatasi dengan sekitaran antarmuka Pb-karbon, terlepas dari jenis karbon dan kombinasinya. Menariknya, campuran fisik G dengan CB-2 dan

AB menunjukkan performa yang lebih buruk dibandingkan pada *bilayer* (lapisan ganda) atau bahkan karbon individual. SSA grafit yang rendah serta SSA karbon yang tinggi ada kasus ini merupakan faktor penting, karena secara signifikan menghasilkan campuran fisik karbon pada proses perekatan (*pasting*). Kombinasi CB-2 dan AB memiliki performa paling baik dalam hubungan Faraday-Pb dan total puncak arus. Bilayer AB/CB-2 memberikan puncak arus katodik tertinggi sebesar 4.6 mA dengan kontribusi Faraday-Pb sebesar 2.0mA pada siklus ke 200. Diantara karbon individual, CB-2 memberikan puncak arus katodik tertinggi sebesar 3.5 mA dengan kontribusi Faraday-Pb sebesar 1.4 mA pada siklus ke 200.



Gambar 2.9 Grafik Puncak Arus Katoda dari Karbon dan Kombinasinya menggunakan Elektroda Pb saat Siklus ke 200.

Kesimpulan dari studi yang dilakukan Jaiswal yaitu metode *Cyclic Voltammetry* merupakan metode yang tepat dalam mengevaluasi dan menggolongkan karbon sebagai bahan *additive* pada plat negatif baterai *lead acid*. *Carbon black*, *acetylene black*, dan grafit menunjukkan perbedaan perilaku pada reaksi *Faradaic* dan *Capacitive* (hambatan). Semua karbon pada studi ini menunjukkan tingginya arus *faraday* dan semakin naik pada siklus

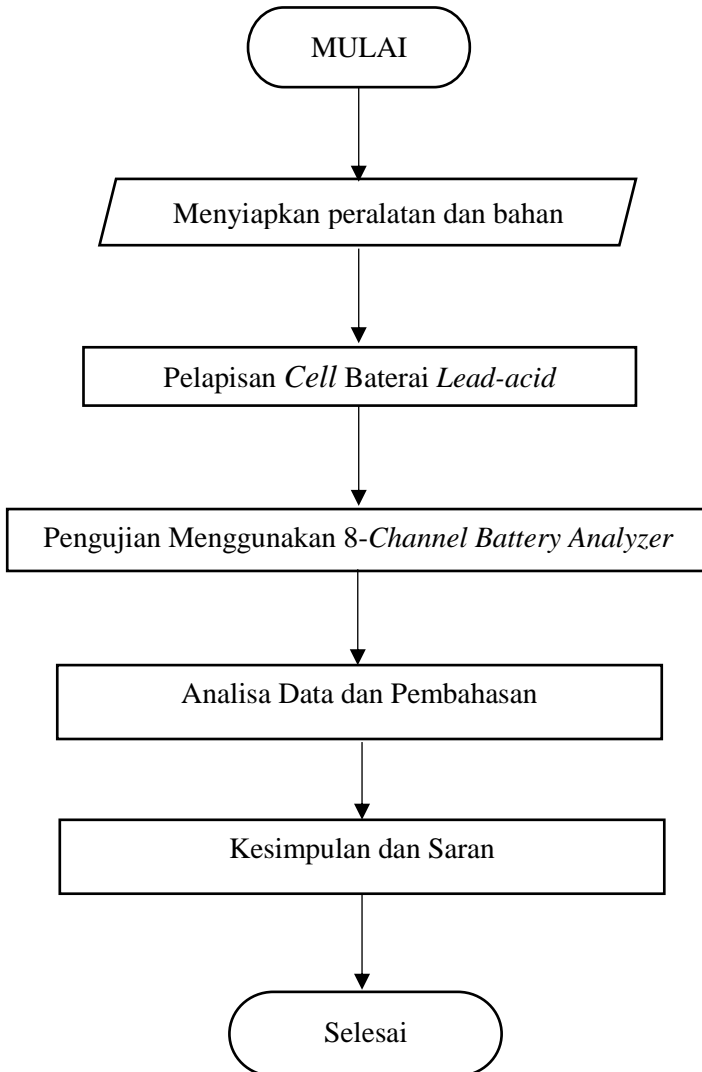
berikutnya jika dibandingkan dengan plat Pb yang kosong. Karbon memegang peranan penting dalam meningkatkan aktivitas elektrokimia saat Pb dikenai elektrolit H_2SO_4 . Pencampuran dua jenis karbon digunakan dalam meningkatkan profil CV dengan perbedaan reaksi *faraday* dan kontribusi hambatan. *Carbon black* dan *acetylene black* merupakan kombinasi terbaik dalam reaksi *faraday* dan puncak arus total.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

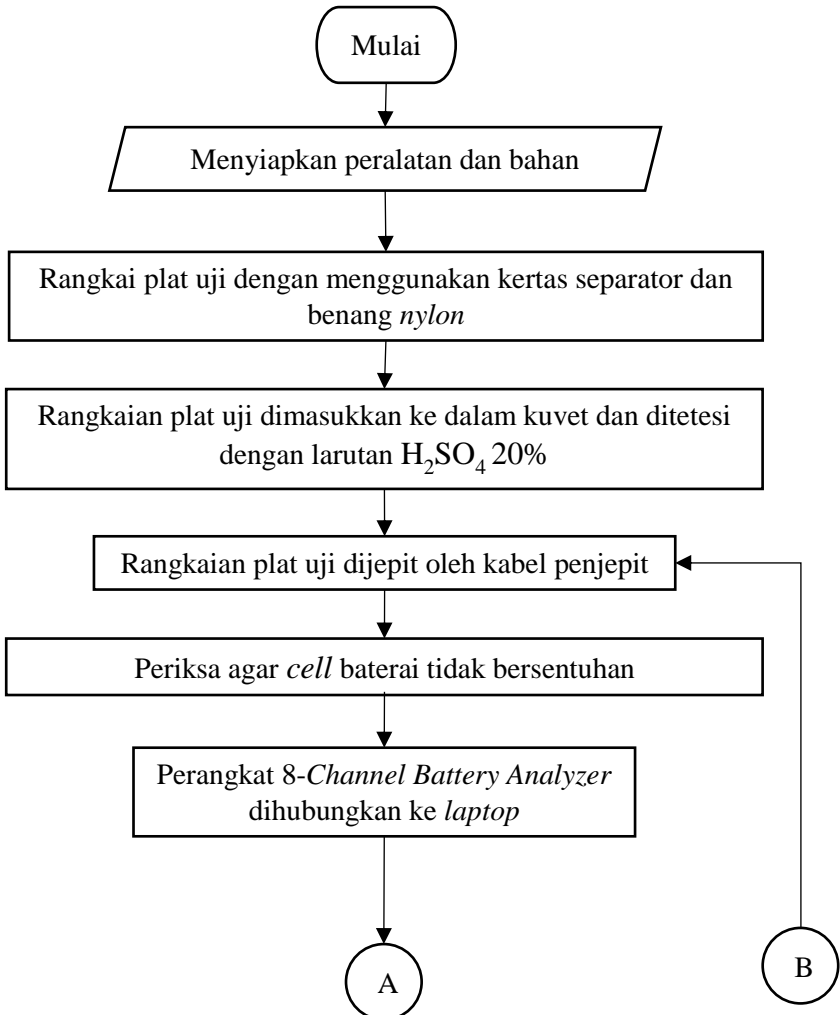
3.1 Diagram Alir Penelitian

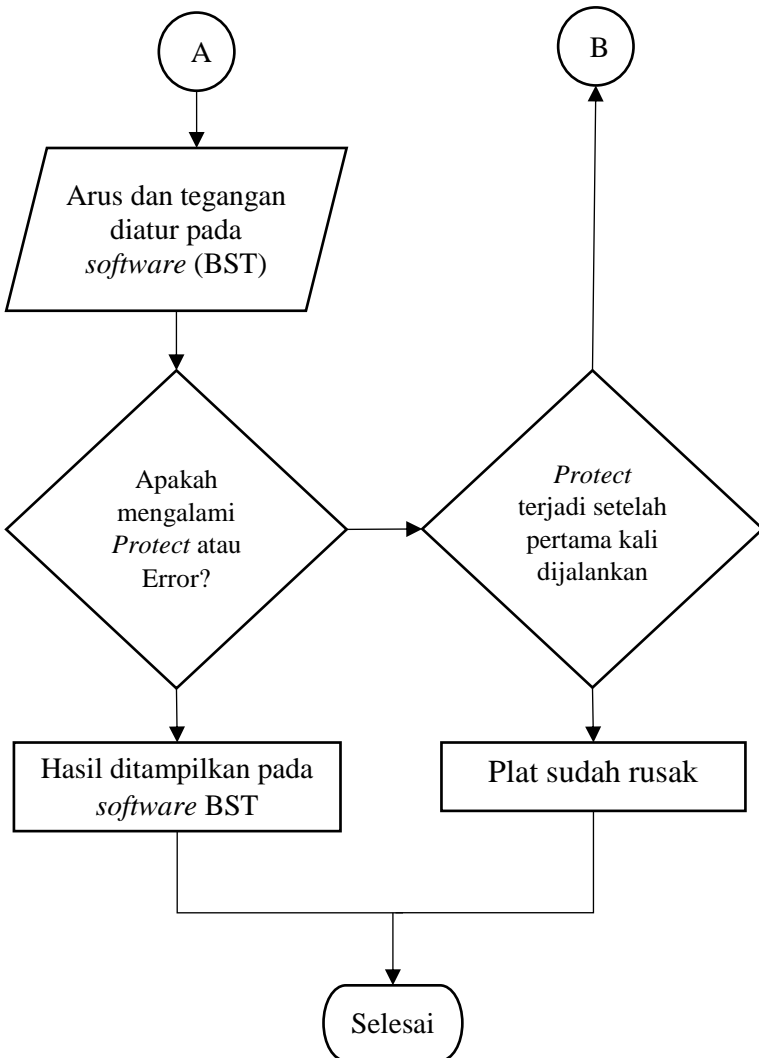
Dalam bab ini akan dijelaskan langkah-langkah yang akan dijadikan acuan dalam penelitian ini. Langkah awal yang dilakukan adalah studi lapangan permasalahan yang akan diteliti. Selanjutnya melakukan studi literatur terkait penelitian, dan melakukan percobaan. Setelah melakukan percobaan, data dianalisa dan mendiskusikannya. Langkah terakhir yakni menarik kesimpulan serta saran dari hasil penelitian ini seperti flowchart pada gambar 3.1



Gambar 3. 1 *Flowchart* diagram alir penelitian

Gambar 3.2 merupakan diagram alir pengujian sampel baterai dengan menggunakan *Battery Analyzer* yakni sebagai berikut:





Gambar 3. 2 Flowchart diagram alir pengujian *battery analyzer*

3.2 Studi Literatur

Studi literatur digunakan sebagai ulasan terhadap buku dan jurnal yang memberikan informasi terkait pengaruh *carbon materials* terhadap *charging life cycle* dari *lead acid battery*. Literatur utama yang dijadikan pedoman penulis berasal dari jurnal – jurnal penelitian sejenis beserta buku – buku referensi terkait dengan penelitian ini. Pada tahap ini akan didapatkan referensi literatur sebagai pendukung pemecahan permasalahan yang akan dianalisa.

3.3 Melakukan Percobaan

Bahan penelitian ini terdiri dari *plat positif dan plat negatif* standar baterai *lead acid* merek indobatt. Semua plat sudah diaktifkan dengan proses *charging* dan dikeringkan menggunakan desikator. Pembuatan dan pengambilan data penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Elektrokimia – Teknik Kimia ITS. Bahan karbon yang digunakan adalah *acetylene black* yang diperoleh dari salah satu pemasok.

3.3.1 Peralatan dan Bahan yang digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- | | |
|--------------------------------------------|-------------------------|
| 1. Gelas ukur | 14. <i>Potentiostat</i> |
| 2. Pinset spesimen | 15. <i>Dish</i> |
| 3. Desikator | |
| 4. <i>8 – Channel
Battery Analyzer</i> | |
| 5. Penggaris | |
| 6. Gunting | |
| 7. <i>Cutter</i> | |
| 8. Kuvet | |
| 9. Pipet tetes | |
| 10. Spatula | |
| 11. Kertas saring | |
| 12. Benang <i>nylon</i> | |
| 13. Neraca Ohaus | |

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Laurtan asam sulfat 20%
2. *Aquades*
3. Lem epoksi
4. *Carboxymethyl Cellulose (CMC)*
5. Plat positif dan plat negatif baterai *lead acid*
6. *Acetylene black*
7. Norit

3.3.2 Pelapisan *Cell* Baterai *Lead Acid*

Berikut tahapan melakukan pelapisan plat positif dan plat negatif baterai *lead acid* menggunakan *acetylene black* :

1. Plat negatif dan plat positif dipotong berukuran satu grid (1,5 cm x 0,5 cm).
2. Plat negatif dan plat positif ditimbang dan dicatat.
3. Karbon aktif dan *acetylene black* diberi tambahan *Carboxymethyl Cellulose (CMC)* dengan perbandingan jumlah *CMC* dengan karbon aktif adalah 1:5.
4. Campurkan karbon aktif, *acetylene black* dan *CMC* dengan *aquades* hingga mencapai kekentalan tertentu.
5. Campuran tersebut dioleskan pada salah satu cell baterai secara merata menggunakan cetakan akrilik.
6. Cell baterai dikeringkan di desikator selama semalam.
7. Cell baterai yang sudah kering ditimbang dan dicatat untuk mengetahui massa karbon yang bertambah
8. Sisi cell baterai yang lain dioleskan lem epoxy, kemudian dikeringkan dalam desikator.
9. Cell baterai siap untuk diuji.
10. Lakukan langkah di atas untuk pelapisan plat dengan menggunakan norit (karbon aktif).

3.3.3 Pengujian dengan 8-Channel Battery Analyzer

Pengujian *cell* baterai yang dilapisi *acetylene black* dan norit serta plat standar menggunakan alat 8 – Channels Battery Analyzer dengan tujuan untuk mengetahui jumlah siklus hidup baterai. Berikut spesifikasi alat 8 Channels Battery Analyzer:

Nama Alat : 8 Channels Battery Analyzer

Model : BST8-MA (10Ma)

Power : 30W

No Seri : T1301-048476

Asal Negara : Jepang

Perolehan : 23-01-2013



Gambar 3. 3 8-Channel Battery Analyzer

Berikut tahapan melakukan pengujian *battery analyzer* untuk *cell* baterai *lead acid* :

1. Siapkan *cell* baterai yang telah diolesi norit dan *acetylene black* dan pasangan plat standar.
2. Kertas separator sebagai pemisah (sekat) diletakkan diantara *cell* baterai
3. *Cell* baterai yang telah disekat diikat dengan benang nylon.
4. Plat dimasukkan ke dalam kuvet dan diberi larutan H_2SO_4 20%.

5. Cell baterai dijepit oleh kabel penjepit (penjepit buaya). Kabel berwarna merah dihubungkan ke plat positif, sedangkan kabel berwarna hitam dihubungkan ke plat negatif.
6. Perangkat 8-Channel Battery Analyzer dihubungkan ke laptop. Arus dan tegangan diatur pada software (BTS) sebagai berikut;
 - ◆ Arus: 0,75 mA
 - ◆ Range tegangan yang diberikan: 1,8 V – 2,3 V
 - ◆ Tegangan saat discharging: 1,95 V
 - ◆ Tegangan saat charging: 2,13 V
7. Hasil pengujian akan ditampilkan melalui BTS yang telah ter-install di laptop.

3.3.4 Pengujian dengan *Potentiostat*

Setelah melakukan pengujian dengan *battery analyzer* dilakukan pengujian dengan *potentiostat* alat *Autolab* untuk mengetahui jumlah kapasitas tiap plat.

Nama Alat	: <i>Autolab</i>
Model	: PGSTAT302N
Elektroda Referensi	: Ag/AgCl
Control <i>Software</i>	: NOVA 1.6



Gambar 3. 4 Alat Potensiostat *Autolab*

3.4 Metode Pengambilan Data

Cell baterai baterai *lead-acid* akan diuji dengan *mode charging* dan *discharging* pada alat *8-Channel Battery Analyzer* di Laboratorium Elektrokimia ITS dan *Cyclic Voltammetry* di Laboratorium Korosi (Metalurgi) Teknik Mesin ITS. Pengambilan data pada alat tersebut terekam otomatis pada *software* alat.

3.5 Analisa Data dan Pembahasan

Tahap ini dilakukan penulis untuk menganalisa data yang didapatkan. Berdasarkan data-data tersebut kemudian diberikan pembahasan yang mendukung terkait tujuan penelitian.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian Tugas Akhir ini. Setelah permasalahan dianalisa, maka akan dapat menjelaskan fenomena pengaruh *carbon materials* terhadap usia pakai baterai *lead-acid* serta perbandingan penggunaan *activated carbon* dengan *acetylene*. Berdasarkan data tersebut akan diperoleh solusi yang paling baik dan bisa dijadikan sebagai kesimpulan dari penelitian ini.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penambahan *Material Carbon* pada *Positive Active Material* (PAM) dan *Negative Active Material* (NAM)

Carbon materials merupakan material tambahan berupa karbon yang dicampurkan dengan material utama baterai dengan kadar tertentu sesuai dengan jenis kegunaan baterai tersebut. Hingga saat ini pengujian menggunakan *carbon materials* terus dilakukan untuk mendapatkan baterai yang tahan lama, ramah lingkungan dan menginovasi kegagalan pada baterai. *Material materials* yang banyak digunakan oleh para penguji untuk NAM adalah *carbon black*, *graphite*, *graphene*, *lignosulfonate* dan barium sulfat. Penambahan material aditif tersebut telah terbukti memperbaiki kegagalan pada baterai seperti menghambat pertumbuhan timbal sulfat, meningkatkan konduktivitas plat, serta meningkatkan siklus hidup baterai sehingga perlunya melakukan pengujian material aditif ini pada baterai. Pengujian penambahan material aditif ini banyak dilakukan pada plat negatif (NAM) dan hanya sedikit pengujian menggunakan material aditif pada PAM namun hasil kedua pengujian sama – sama mengungkapkan bahwa penambahan material aditif meningkatkan konduktivitas, efisiensi *charging* dan menghambat terjadinya *sulfation*.

Beberapa pengujian sebelumnya yang dilakukan oleh Nakamura, Pavlov, Moseley, Jaiswal dan Calabek mengatakan bahwa penambahan karbon hitam pada material aktif dapat mengubah kapasitas *discharge*, meningkatkan *cycle life*, menghalangi pertumbuhan kristal PbSO_4 pada plat negatif baterai, memperbaiki efisiensi *charging*, dan menurunkan *energy losses*. Pengujian NAM yang dilakukan oleh Jaiswal menggunakan lima jenis bahan karbon dengan *specific surface area* (SSA) yang

berbeda – beda dan metode *Cyclic Voltammetry* (CV). Hasil pengujian ini menyatakan bahwa karbon memegang peranan penting dalam meningkatkan aktivitas elektrokimia saat Pb dikenai elektrolit H_2SO_4 serta penambahan *carbon black* dan *acetylene black* sebagai material aditif merupakan kombinasi terbaik dalam reaksi *faradaic* dan puncak arus total. Sedangkan pengujian penambahan grafit pada PAM yang dilakukan oleh Jagannathan[18] mengatakan bahwa grafit yang memiliki luas permukaan spesifik 250 – 550 m^2/g membuat baterai asam timbal mempunyai kapasitas 15% lebih besar dari plat standar baterai asam timbal. Grafit yang bersifat *inert* terhadap elektrolit membuat baterai memiliki *cycle life* yang tinggi akibat terhambatnya pembentukan timbal sulfat, evolusi hydrogen, *internal resistance*, dan *short circuit*. Keuntungan karbon aditif tersebut membuat penulis tertarik untuk menguji plat baterai asam timbal hanya dengan melapisi karbon aditif pada permukaan plat. Selain itu karena banyaknya pengujian penambahan material karbon pada plat negatif atau plat positif saja membuat penulis tertarik untuk menguji *cell* baterai yang keduanya dilapisi material karbon.

Pada bab ini akan membahas mengenai pengaruh pelapisan *carbon materials* berupa norit dan *acetylene black* pada *cell* baterai baterai *lead acid*. Analisa pengaruh pelapisan ini mengacu kepada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya berupa penambahan *carbon materials* pada plat positif baterai *lead acid*. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan data yang menunjukkan pengaruh penambahan *carbon materials* pada *cell* baterai *lead acid* terhadap *cycle life* nya.

4.2 Analisa Perhitungan Kapasitas Plat Positif PT.Indobatt

appearance density dan penetrasi, temperatur akhir, temperature maksimal, dan jumlah kandungan air pada pasta. Pasta yang sudah teruji kualitasnya akan disatukan dengan plat dalam proses *pasting* sehingga nantinya menjadi plat standar yang digunakan dalam pengujian.

Tabel 4.1 Komposisi Kimia *Cell* Baterai PT.Indobatt Permai

Positif	Negatif
<i>Lead Oxyde Powder</i> (kg)	<i>Lead Oxyde Powder</i> (kg)
<i>Sodium Licnosulfanate</i> (0,1% <i>Lead Oxyde Powder</i>)	<i>Sodium Licnosulfanate</i> (0,1% <i>Lead Oxyde Powder</i>)
H ₂ O (13,2% <i>Lead Oxyde Powder</i>)	H ₂ O (10,2% <i>Lead Oxyde Powder</i>)
H ₂ SO ₄ (10,6% <i>Lead Oxyde Powder</i>)	H ₂ SO ₄ (9,9% <i>Lead Oxyde Powder</i>)
	BaSO ₄
	<i>Stearic Acid</i> (0,1% <i>Lead Oxyde Powder</i>)
	<i>Expander(carbon)</i> (0,5% <i>Lead Oxyde Powder</i>)

Kapasitas dari sampel yang dilakukan untuk pengujian perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kapasitas teoritis yang tersimpan di dalam satu grid plat positif baterai lead acid. Perhitungan kapasitas untuk satu grid *cell* baterai aki NS 60 adalah sebagai berikut:

Panjang Plat = 12,5 cm

Lebar Plat = 11 cm

Panjang Sample = 1,5 cm

Lebar Sampel = 0,5 cm

Kapasitas 1 plat positif = 4,5Ah

Kapasitas plat positif yang digunakan = 2,25Ah

$$\begin{aligned} \text{Luas Plat} &: p \times l \\ &= 12,5 \text{ cm} \times 11 \text{ cm} \\ &= 137,5 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Sampel} &: p \times l \\ &= 1,5 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm} \\ &= 0,75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas teoritis 1 grid sampel} = \frac{0,75}{137,5} \times 2250 \text{mAh}$$

$$= 12,27 \text{ mAh}$$

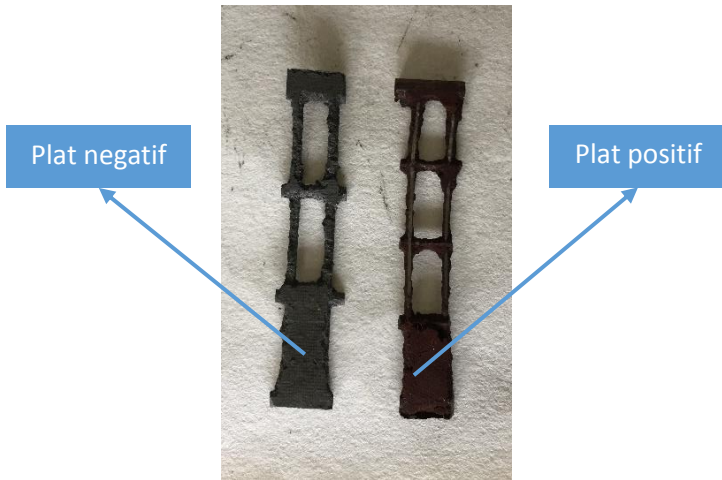
Dari hasil perhitungan, didapatkan bahwa kapasitas teoritis dari sampel uji yang digunakan sebesar 12,27 mAh.

4.3 Pembuatan Cell Baterai

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan dua buah sampel yakni sampel pertama berupa plat standar positif dan negatif dan sampel kedua berupa plat standar positif dan negatif yang sudah dilapisi dengan *acetylene black*. Berikut tahap pembuatan sampel sel baterai:

4.3.1 Pembuatan *Cell* Baterai Elektroda Standar

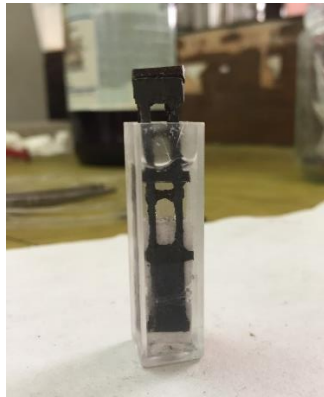
Sel baterai elektroda standar dibuat dengan menggunakan plat positif dan plat negatif aki GS. Plat positif dan plat negatif standar dipotong menjadi ukuran satu grid dengan panjang 1,5 cm dan lebar 0,5 cm. Kedua plat ini disusun berhimpit dan diantaranya diletakkan kertas separator sebagai pemisah kedua plat. Kemudian kedua plat tersebut diikat dengan menggunakan benang *nylon*. Sampel yang sudah jadi dimasukkan ke dalam kuvet dan ditetesi larutan 20% H_2SO_4 hingga tertutup seluruh bagian sampel. Selanjutnya sampel dilakukan pengujian dengan *battery analyzer*. Gambar 4.1 merupakan *cell* baterai elektroda standar yang akan dilakukan pengujian.



(a)



(b)

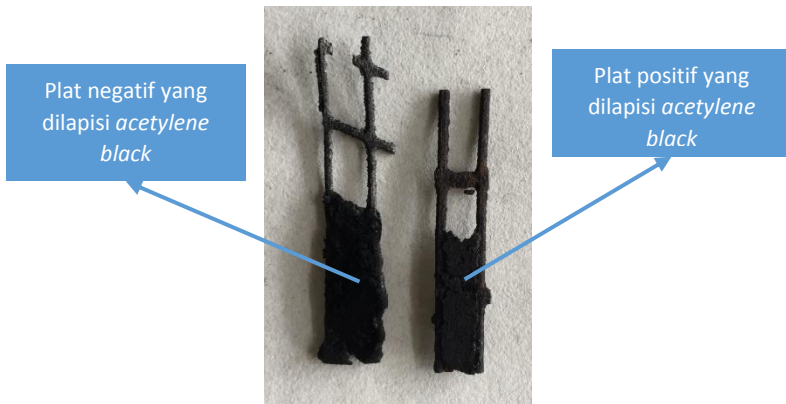


(c)

Gambar 4. 1 (a) tampak depan *cell* baterai standar; (b) tampak samping *cell* standar yang telah dirangkai; (c) sampel uji *cell* standar

4.3.2 Pembuatan *Cell* Baterai Dilapisi *Acetylene Black*

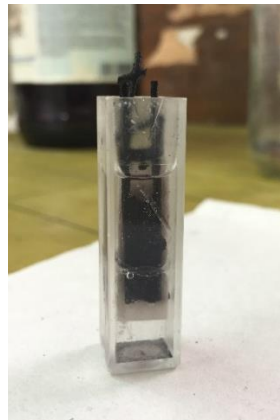
Sel baterai untuk sampel kedua ini menggunakan plat yang aki yang sama seperti plat standar di atas. Plat positif dan plat negatif yang akan dilapisi *acetylene black* ini dipotong dengan ukuran satu grid dengan panjang 1,5 cm dan lebar 0,5 cm. Masing – masing plat tersebut salah satu sisinya dilapisi dengan *acetylene black* yang dicampur dengan perekat berupa *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) dengan perbandingan *acetylene black* dan CMC adalah 5:1. Campuran tersebut dilarutkan dengan aquades hingga kekentalan tertentu hingga menyerupai tinta. *Acetylene black* yang digunakan untuk melapisi sebanyak 0,166% dari persen berat plat. Pelapisan ini dilakukan dengan cara campuran *acetylene black* diletakkan secara merata diatas akrilik. Plat positif dan plat negatif diletakkan di atas plat tersebut hingga terlapis merata. Plat positif dan plat negatif yang telah terlapis ini kemudian dikeringkan pada desikator selama 24 jam pada temperatur ruangan. Setelah plat tersebut kering, sisi yang tidak dilapisi *acetylene black* dilapisi dengan lem epoksi untuk mengisolasi permukaan yang tidak bereaksi kemudian dikeringkan. Pengujian sampel pada *battery analyzer* ini dengan meletakkan *cell* baterai yang telah terlapis *acetylene black* disusun berhimpit dan diantaranya diletakkan kertas saring sebagai separator. Kedua plat ini kemudian diikat dengan menggunakan benang *nylon*. Plat tersebut kemudian dimasukkan kedalam kuvet dan ditetesi dengan larutan 20% H_2SO_4 hingga plat tercelup. Gambar 4.2 ini menunjukkan sel baterai yang telah dilapisi *acetylene black*.



(a)



(b)

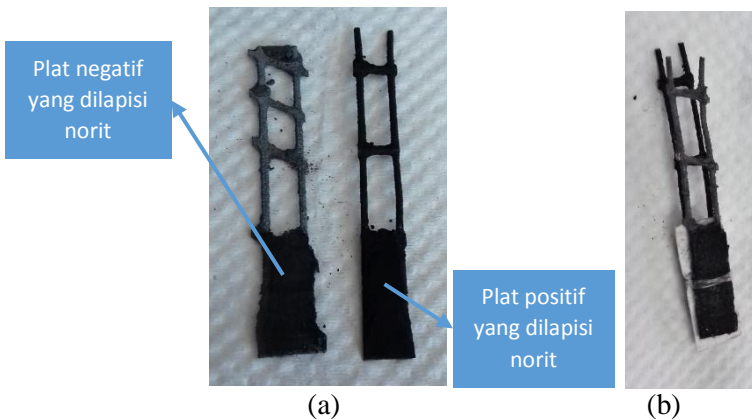


(c)

Gambar 4. 2 (a) tampak depan *cell* baterai yang dilapisi *acetylene black*; (b) tampak samping *cell* baterai yang dilapisi *acetylene black* yang telah dirangkai; (c) sampel uji *cell* baterai yang dilapisi *acetylene black*

4.3.3 Pembuatan Cell Baterai Dilapisi Norit

Sel baterai untuk sampel kedua ini menggunakan plat yang aki yang sama seperti plat standar di atas. Plat positif dan plat negatif yang akan dilapisi norit ini dipotong dengan ukuran satu grid dengan panjang 1,5 cm dan lebar 0,5 cm. Masing – masing plat tersebut salah satu sisinya dilapisi dengan norit yang dicampur dengan perekat berupa *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) dengan perbandingan norit dan CMC adalah 5:1. Campuran tersebut dilarutkan dengan *aquades* hingga kekentalan tertentu hingga menyerupai tinta. Norit yang digunakan untuk melapisi sebanyak 0,14% dari persen berat plat. Pelapisan ini dilakukan dengan cara campuran norit diletakkan secara merata diatas akrilik. Plat positif dan plat negatif diletakkan di atas akrilik tersebut hingga terlapis merata. Setelah plat tersebut kering, sisi yang tidak dilapisi norit dilapisi dengan lem epoksi untuk mengisolasi permukaan yang tidak bereaksi kemudian dikeringkan. Pengujian sampel pada *battery analyzer* ini dengan meletakkan *cell* baterai yang telah terlapis norit disusun berhimpit dan diantaranya diletakkan kertas saring sebagai separator. *Cell* baterai ini kemudian diikat dengan menggunakan benang *nylon*. *Cell* baterai tersebut kemudian dimasukkan kedalam kuvet dan ditetesi dengan larutan 20% H_2SO_4 hingga plat tercelup. Gambar 4.3 ini menunjukkan sel baterai yang telah dilapisi norit.



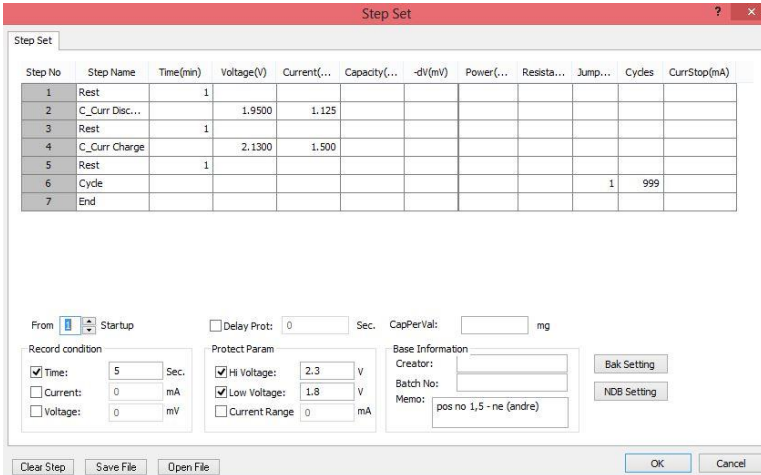
Gambar 4. 3 (a) tampak depan *cell* baterai yang dilapisi norit; (b) tampak samping *cell* baterai yang dilapisi norit yang telah dirangkai.

4.4 Pengujian Battery Analyzer.

4.4.1 Pengaturan Alat 8 – *Channel Battery Analyzer*

Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah 8 – *channel battery analyzer*. Battery analyzer ini memiliki 8 channel pengujian yang dapat digunakan bersamaan. Pengaturan pengujian ini diatur batas atas dan batas bawah dari tegangan yang diijinkan yakni 2,3 volt untuk batas atas dan 1,8 volt untuk batas bawah sehingga dalam pengujian ini tegangan (voltase) hanya berkisar 1,8 volt hingga 2,3 volt. Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa pengaturan atau tahap pertama adalah *rest* selama 1 menit. *Rest* ini merupakan tahap dimana plat uji tidak melakukan *charging* maupun *discharging*. Tahap kedua adalah *constant current charge* yang diatur arus sebesar 1,125 mA. Tahap kedua akan selesai saat voltase plat sudah turun pada angka 1,95 volt. Selanjutnya tahap ketiga yakni *rest* selama 1 menit. Tahap keempat adalah *constant current charge* yang diatur konstan arus sebesar 1,5 mA dan voltase 2,13 volt sehingga tahap keempat akan berakhir ketika

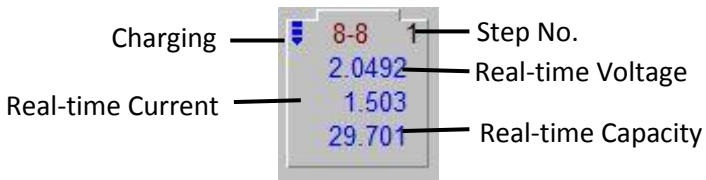
voltase plat sudah mencapai 2,13 volt. Selanjutnya adalah *rest* selama 1 menit dan tahap *cycle* yang diatur sebanyak 9999 siklus. Tahap *cycle* ini menandakan bahwa pengujian telah menjalani satu siklus dan kemudian sampel akan diulang ketahap pertama dan begitu seterusnya hingga sampel mengalami kerusakan.



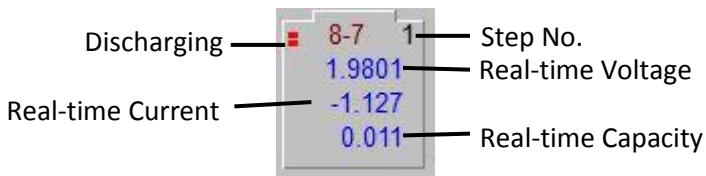
Gambar 4. 4 Setup pengujian *Channel Battery Analyzer*

4.4.2 Charging dan Discharging Pengujian Battery Analyzer

Proses *charging* pengujian pada *channel battery analyzer* ditunjukkan dengan adanya tanda warna biru di ujung *channel view*. Sedangkan untuk *discharging* ditunjukkan dengan tanda warna merah di *channel view*nya juga. Pada *channel view* ini akan ditunjukkan *step no* yang merupakan jumlah *cycle* sampel uji, besar arus, tegangan dan kapasitas pada saat pengujian berlangsung. Pada gambar 4.5 (a) dan 4.5 (b) dibawah ini menunjukkan *channel info* pada saat proses *charging* dan *discharging* berlangsung.



(a)



(b)

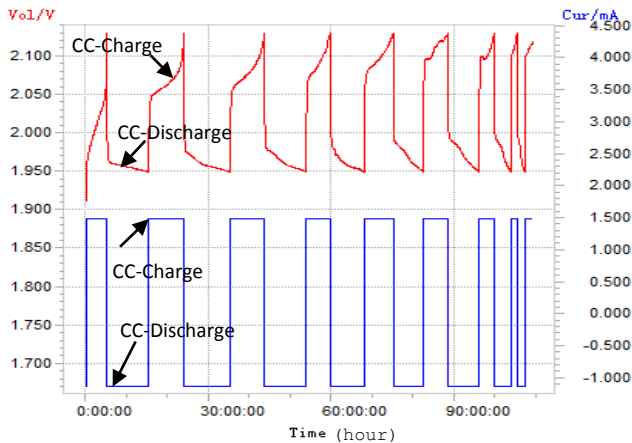
Gambar 4. 5 Channel info (a) charging battery analyzer ; (b) discharging battery analyzer

4.5 Hasil Pengujian

Berikut hasil pengujian dan analisa percobaan yang telah dilakukan :

4.5.1 Pengujian Plat Standar

Pengujian plat standar ini dilakukan sebagai data acuan dan pembandingan dari pengujian *cell* baterai yang dilapisi oleh *carbon materials* yaitu berupa norit dan *acetylene black*. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh dari pelapisan *carbon materials* tersebut terhadap *cycle life* baterai.



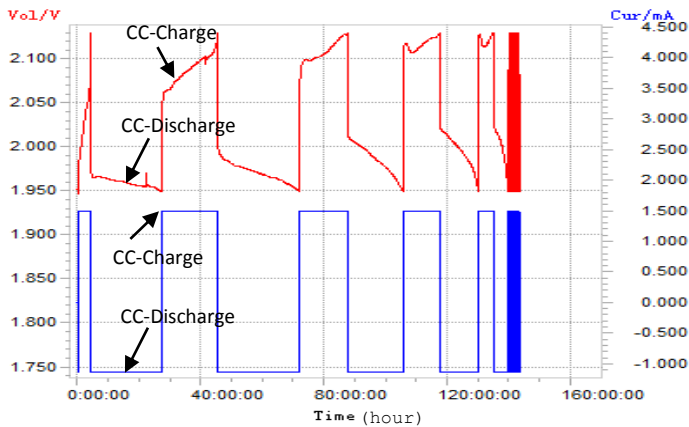
Gambar 4. 6 Hasil pengujian plat standar pada 8-Channel Battery Analyzer

Pengujian plat standar ini dilakukan dengan pengaturan *constant current discharge* dan *constant current charge* diatur antara 1.8 volt hingga 2.3 volt. Gambar 4.6 merupakan grafik keseluruhan hasil pengujian plat standar pada 8-Channel Battery Analyzer. Pada grafik, garis biru menyatakan arus dengan satuan miliamper (mA) dan garis merah menyatakan voltase dengan satuan volt. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa pengujian hanya berlangsung sebanyak 9 siklus dan lama waktu siklus ke siklus berikutnya semakin menurun.

4.5.2 Pengujian Cell Baterai Dilapisi Acetylene Black

Gambar 4.7 merupakan grafik perbesaran hasil pengujian *cell* baterai yang dilapisi *acetylene black* pada 8-Channel Battery Analyzer. Pengujian ini diatur dengan pengaturan *constant current discharge* dan *constant current charge*. Pada gambar 4.7 terlihat enam siklus pertama berjalan dalam waktu yang lama dan tiap siklus berikutnya berlangsung singkat. Pengujian ini berlangsung

hingga 1000 siklus. Dari grafik tersebut pengujian berlangsung dengan konstan dan waktu siklus semakin menurun dari satu siklus ke siklus berikutnya. Hal ini terjadi karena karakteristik *acetylene black* yang berbentuk butiran dengan luas permukaan yang kecil sehingga mudah bereaksi dengan cairan elektrolit menyebabkan *cycle life* plat bertambah namun tidak dapat menyimpan muatan dengan banyak dan kapasitas yang dihasilkan sedikit.

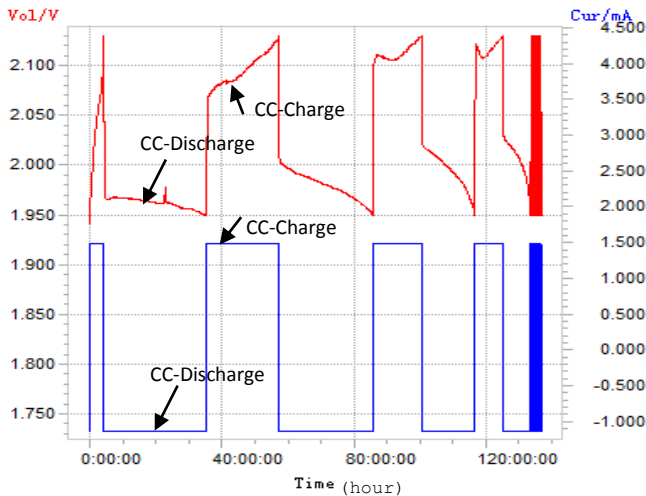


Gambar 4.7 Hasil pengujian *cell* baterai yang dilapisi *acetylene black* pada *8-Channel Battery Analyzer*

4.5.3 Pengujian *Cell* Baterai Dilapisi Norit

Gambar 4.8 merupakan grafik perbesaran hasil pengujian *cell* baterai yang dilapisi norit pada *8-Channel Battery Analyzer*. Grafik pengujian dengan norit ini sedikit berbeda dengan grafik pengujian dengan *acetylene black* namun jumlah siklus kedua pengujian sama. Pada gambar 4.8 terlihat empat siklus pertama berjalan lebih lama dan tiap siklus berikutnya berlangsung dengan singkat. Pengujian ini berlangsung sampai 1000 siklus. Dari grafik

tersebut pengujian waktu siklus semakin menurun dari satu siklus ke siklus berikutnya. Hal ini terjadi karena karakteristik norit yang memiliki luas permukaan spesifik yang berpori besar menyebabkan berkurangnya radius pori plat sehingga menghalangi elektrolit bereaksi dengan plat dan siklus cepat mengalami *charging*. Selain itu luas permukaan spesifik dan konduktivitas norit yang tinggi ini menyebabkan norit memiliki kapasitas yang besar.

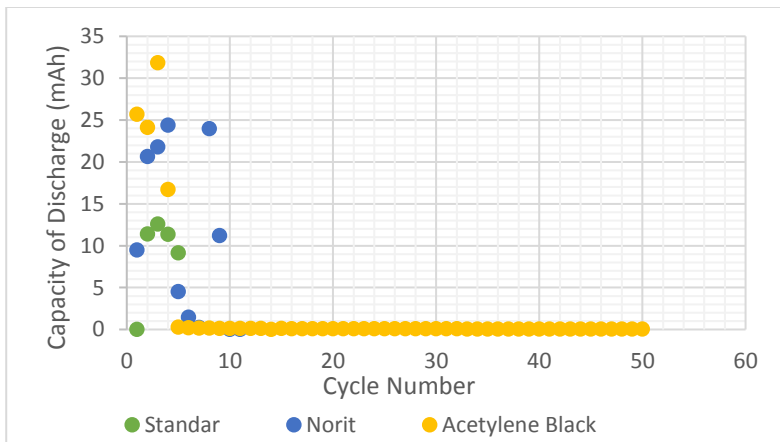


Gambar 4.8 Hasil pengujian *cell* baterai yang dilapisi norit pada 8-Channel Battery Analyzer

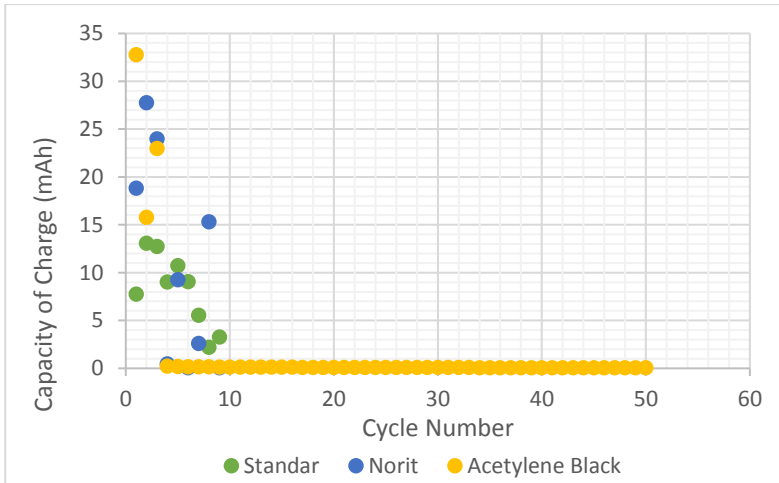
4.5.4 Perbandingan Kapasitas Sampel *Cell* Baterai Standar, *Cell* Baterai yang Dilapisi *Acetylene Black* dan Norit terhadap *Cycle Life* Baterai

Gambar 4.15 (a) merupakan grafik kapasitas *discharge* (b) grafik kapasitas *charge* terhadap jumlah siklus (*cycle number*) dari plat uji standar, plat negatif yang dilapisi *acetylene black* dan norit.

Trendline kapasitas dari kedua grafik terlihat semakin menurun tiap siklusnya. Pada grafik dapat dilihat bahwa jumlah siklus plat uji standar dan norit paling sedikit dan plat uji *acetylene black* yang paling besar. Hal ini terjadi karena *acetylene black* yang dilapisi pada NAM berbentuk butiran kecil lebih mudah bereaksi dengan elektrolit dan membuat pori – pori plat menjadi lebih kecil sehingga mengurangi pertumbuhan timbal sulfat dan menyebabkan jumlah siklus menjadi besar. *Acetylene black* memiliki konduktivitas dan SSA yang rendah membuat plat uji ini tidak dapat menyimpan dan mengeluarkan muatan listrik yang lebih banyak sehingga kapasitas plat *acetylene black* menjadi kecil.



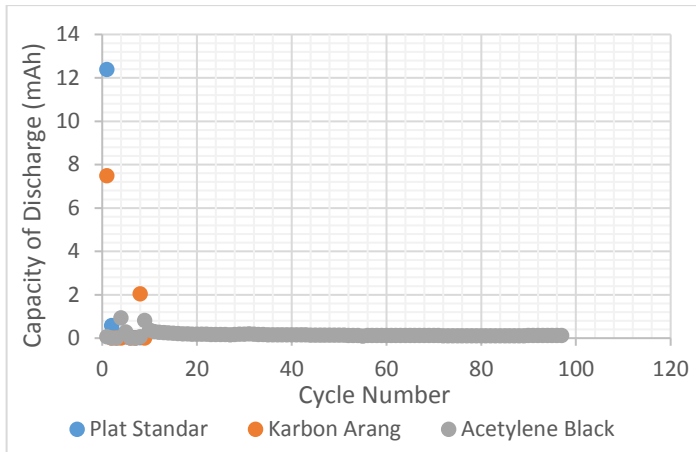
(a)



(b)

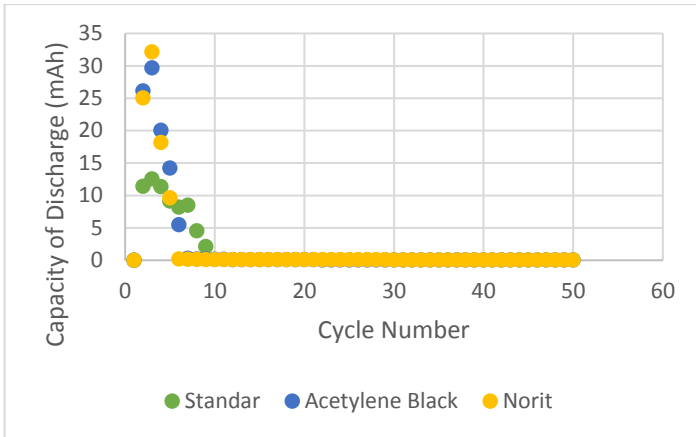
Gambar 4.9 Grafik perbandingan (a) kapasitas *discharge* (b) kapasitas *charge* sampel plat standar, plat negatif yang dilapisi *acetylene black* dan norit terhadap *cycle life*

Menurut pengujian sebelumnya yang dilakukan Nurul Khafidatus yakni berupa pelapisan *acetylene black* dan karbon aktif (arang batok kelapa) pada plat positif menunjukkan hasil yang sama dengan pelapisan material karbon pada plat negatif yakni plat positif memiliki jumlah siklus yang besar dibandingkan dengan jumlah siklus plat standar yang terlihat pada gambar 4.10^[22]. Selain itu pelapisan material karbon ini keduanya memiliki kapasitas yang rendah dibandingkan plat standar. Namun kapasitas plat positif dengan arang batok kelapa lebih besar sedikit dibanding plat positif yang dilapisi *acetylene black*.

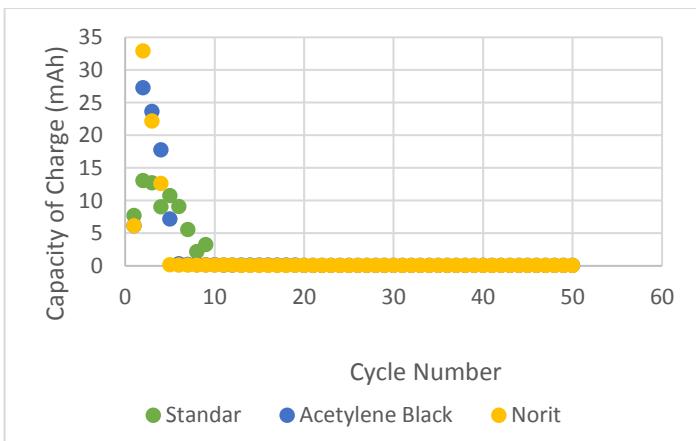


Gambar 4.10 Grafik perbandingan kapasitas *discharge* sampel plat standar, plat positif yang dilapisi *acetylene black* dan karbon arang terhadap *cycle life*^[22]

Gambar 4.11 (a) merupakan grafik kapasitas *discharge* (b) grafik kapasitas *charge* terhadap jumlah siklus (*cycle number*) dari *cell* baterai standar, *cell* baterai yang dilapisi *acetylene black* dan norit. *Trendline* kapasitas dari kedua grafik tersebut juga semakin menurun tiap siklusnya. Urutan jumlah siklus tertinggi berurut adalah plat uji *acetylene black*, norit dan standar. Hal ini terjadi karena norit yang dilapisi pada NAM dan PAM memiliki konduktivitas yang tinggi sehingga mudah untuk melakukan proses *charging* dan *discharging*. Untuk *acetylene black* yang berbentuk butiran kecil menyebabkan plat lebih mudah bereaksi dengan elektrolit. Ini yang menyebabkan norit dan *acetylene black* memiliki siklus yang panjang dan kapasitas *charge* dan *discharge* yang tinggi.



(a)



(b)

Gambar 4.11 (a) Grafik perbandingan (a) kapasitas *discharge* (b) kapasitas *charge* sampel *cell* baterai standar, *cell* baterai yang dilapisi *acetylene black* dan *norit* terhadap *cycle life*.

4.6 Hasil Pengujian dengan metode *Cyclic Voltammetry*

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui pengaruh *carbon materials* terhadap *capacitive processes* dalam reaksi di elektroda. Pengujian dilakukan pada sampel plat standar, plat yang dilapisi norit dan plat yang dilapisi *acetylene black*. Di pengujian CV ini, dibutuhkan 3 jenis elektroda yaitu Ag/AgCl sebagai *reference-electrode*, *grid* Pb yang dihubungkan dengan *counter-electrode*, dan plat uji yang dihubungkan dengan *working-electrode*. Elektrolit yang digunakan adalah H₂SO₄ dengan densitas 1,28 g/cm³. Kecapatan scan (*scan rate*) yang diatur pada alat uji adalah 0,025 V/detik. Setelah pengaturan dilakukan, pengujian dilakukan dan hasil pengujian akan dijelaskan selanjutnya. Berikut tabel 4.3 berisikan hasil kapasitas sampel pada metode CV:

Tabel 4.2 Hasil kapasitas sampel pada metode CV

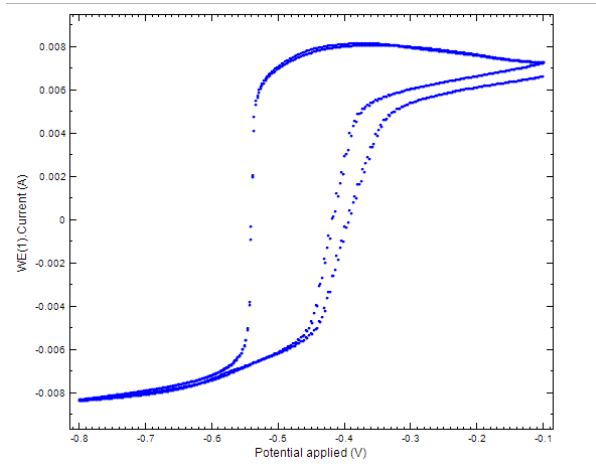
Jenis sampel	Kapasitas (mAh)
Plat standar positif	27,2
Plat standar negatif	6,388
Plat <i>acetylene black</i> negatif	1,414
Plat <i>acetylene black</i> positif	23,4
Plat norit negatif	6,516
Plat norit positif	24,05

4.6.1 Hasil Pengujian CV Plat Standar Negatif

Plat standar yang digunakan pada pengujian ini sama dengan sampel standar yang digunakan pada pengujian *8-Channel Battery Analyzer*. Grafik hasil pengujian CV terlihat pada gambar 4.12 menunjukkan hubungan antara arus sebagai fungsi potensial atau sering disebut juga sebagai *voltammogram*. *Range* voltase pada pengujian plat standar negatif adalah -0,8V hingga -0.1V.

Dari *voltammogram* dapat diketahui besar kapasitas sampel dengan mencari luasan grafik yang terbentuk. Untuk

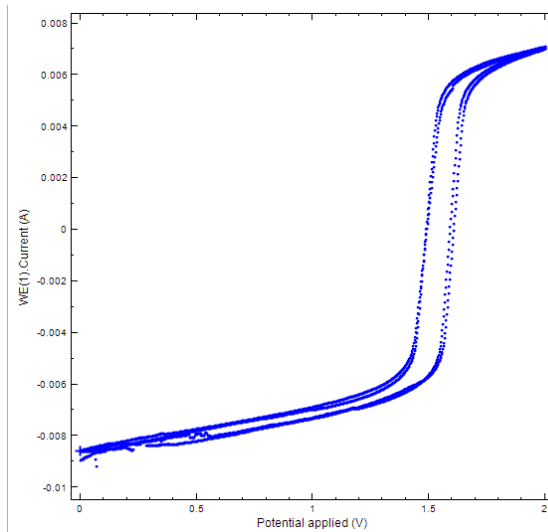
mempermudah, dilakukan dengan mencari persamaan garis dengan *trendline polynomial* kemudian diintegrasikan. Persamaan garis yang terbentuk di pengujian plat standar ini adalah $y = -2658x^2 + 23.87x - 0.3245$. Setelah diintegrasikan, diperoleh nilai sebagai kapasitasnya adalah 6,38 mAh.



Gambar 4.12 Grafik *voltammogram* plat standar negatif

4.6.2 Pengujian CV Plat Standar Positif

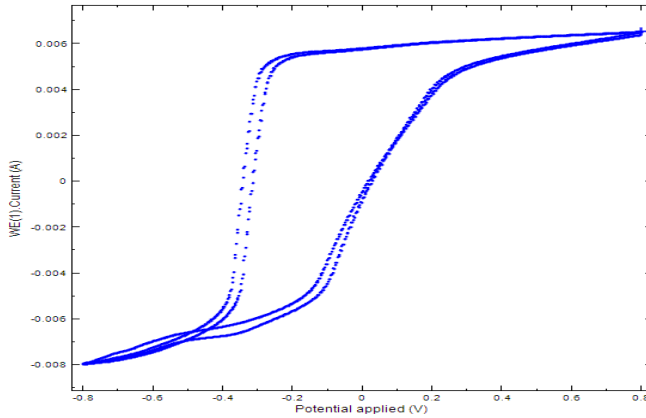
Grafik hasil pengujian CV terlihat pada gambar 4.13 menunjukkan hubungan antara arus sebagai fungsi potensial. *Range* voltase pada pengujian plat standar positif adalah 0 V hingga 2 V. Dari *voltammogram* dengan *trendline polynomial* didapatkan persamaan garis $y = -18122x^2 + 55.862x + 2.1502$. Hasil integral perhitungan plat positif memiliki kapasitas sebesar 27,2 mAh.



Gambar 4.13 Grafik *voltammogram* plat standar positif

4.6.3 Pengujian CV Plat Negatif Dilapisi *Acetylene Black*

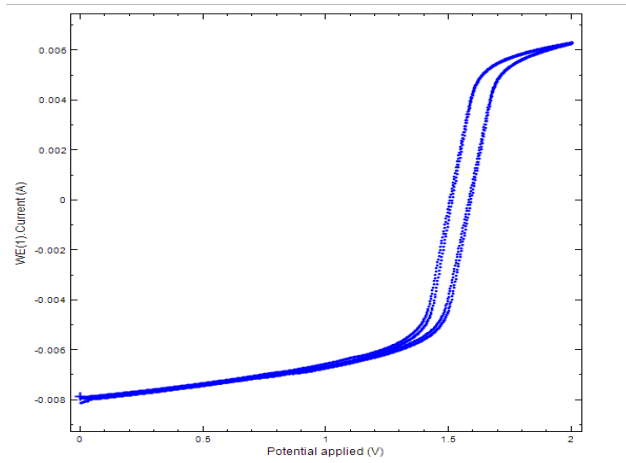
Sampel yang digunakan pada pengujian ini sama dengan sampel plat negatif yang dilapisi dengan *acetylene black* pada pengujian *8-Channel Battery Analyzer*. Grafik hasil pengujian CV plat negatif yang dilapisi *acetylene black* (AB) terlihat di gambar 4.14. *Range* voltase pada pengujian plat *acetylene black* negatif adalah -0,8 V hingga 0,8 V. Persamaan garis yang terbentuk pada plat negatif yang dilapisi *acetylene black* adalah $y = -172.51x^2 + 68.023x - 0.0456$ dengan hasil besar kapasitas sebesar 1,414 mAh.



Gambar 4.14 Grafik *voltammogram* plat negatif yang dilapisi *acetylene black*

4.6.4 Pengujian CV Plat Positif Dilapisi *Acetylene Black*

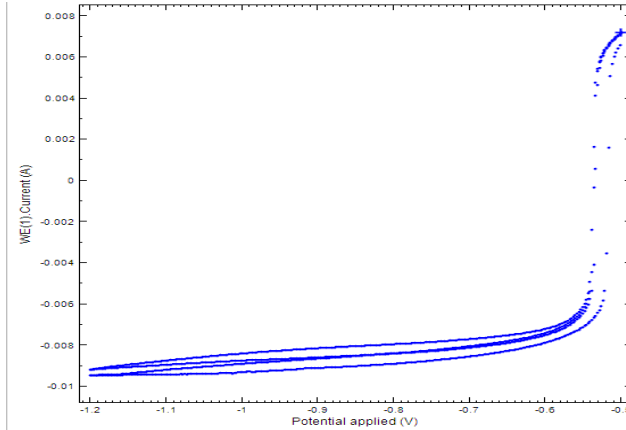
Sampel yang digunakan pada pengujian ini sama dengan sampel plat positif yang dilapisi dengan *acetylene black* pada pengujian *8-Channel Battery Analyzer*. Grafik hasil pengujian CV plat positif yang dilapisi *acetylene black* (AB) terlihat di gambar 4.15. *Range* voltase pada pengujian plat *acetylene black* positif adalah 0 V hingga 2 V. Persamaan garis yang terbentuk pada plat negatif yang dilapisi *acetylene black* adalah $y = -18103x^2 + 61.774x + 2.0061$ dengan hasil besar kapasitas sebesar 23,4 mAh.



Gambar 4.15 Grafik *voltammogram* plat positif yang dilapisi *acetylene black*

4.6.5 Pengujian CV Plat Negatif Dilapisi Norit

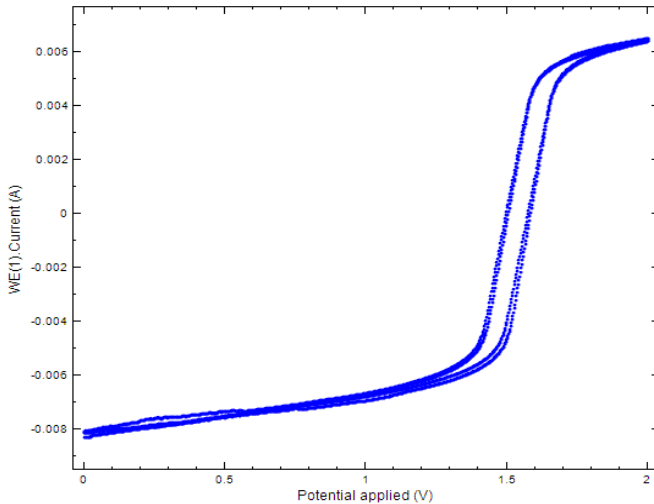
Sampel yang digunakan pada pengujian ini sama dengan sampel plat negatif yang dilapisi dengan norit pada pengujian *8-Channel Battery Analyzer*. Grafik hasil pengujian CV plat negatif yang dilapisi norit terlihat di gambar 4.16. *Range* voltase pada pengujian plat negatif adalah -1.2V hingga -0.5V. Persamaan garis yang terbentuk pada pengujian plat negatif yang dilapisi norit adalah $y = -12270x^2 - 2.1417x - 0.014$ dengan hasil integral sebesar 6,516 mAh.



Gambar 4.16 Grafik *voltammogram* plat negatif yang dilapisi norit

4.6.6 Pengujian CV Plat Positif Dilapisi Norit

Sampel yang digunakan pada pengujian ini sama dengan sampel plat positif yang dilapisi dengan norit pada pengujian *8-Channel Battery Analyzer*. Grafik hasil pengujian CV plat positif yang dilapisi norit terlihat di gambar 4.17. *Range* voltase pada pengujian plat norit negatif adalah 0 V hingga 2 V. Persamaan garis yang terbentuk pada pengujian plat positif yang dilapisi *acetylene black* adalah $y = -17581x^2 + 60.606x + 2.0147$ dengan hasil integral sebesar 24,05 mAh.



Gambar 4.17 Grafik *voltammogram* plat positif yang dilapisi norit

Dari kedua pengujian, dapat terlihat perbedaan kapasitas pada masing – masing cell baterai. Cell baterai dengan pelapisan acetylene black dan norit memiliki jumlah siklus terbanyak. plat yang dilapisi acetylene black memiliki kapasitas charge dan discharge terbesar namun besarnya kapasitas ini tidak jauh berbeda dengan besar kapasitas yang dimiliki cell baterai yang dilapisi norit. Walaupun kedua material karbon ini terlihat memiliki kemampuan yang sama akan tetapi sebenarnya karakteristik dari keduanya sangat berbeda. Acetylene black berstruktur butiran kecil dengan besar SSA 68 m²/gram membuat cell baterai yang terlapis mudah bereaksi dengan elektrolit namun sifat konduktivitas acetylene black yang rendah membuat cell baterai cepat kembali ke proses charging. Berbeda dengan Norit yang memiliki besar SSA 958 m²/gr – 1150 m²/gr membuat permukaan cell baterai memiliki radius kontak yang kecil terhadap elektrolit namun sifat

konduktivitas yang tinggi membuat cell baterai cepat bereaksi dengan elektrolit.

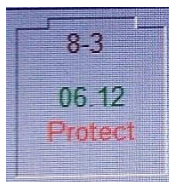
Hal ini berbeda dari pengujian CV, cell baterai standar memiliki kapasitas yang tinggi dan cell baterai yang dilapisi acetylene black memiliki kapasitas terendah. Hal ini dikarenakan pelapisan material karbon menutupi material aktif cell baterai sehingga menghalangi dalam reaksi perhitungan kapasitas.

4.7 Kegagalan dan Kendala Percobaan

Pada saat melakukan pengujian *battery analyzer* ini terdapat beberapa kegagalan yang terjadi dalam pelaksanaannya. Berikut beberapa kegagalan tersebut.

4.7.1 Protect

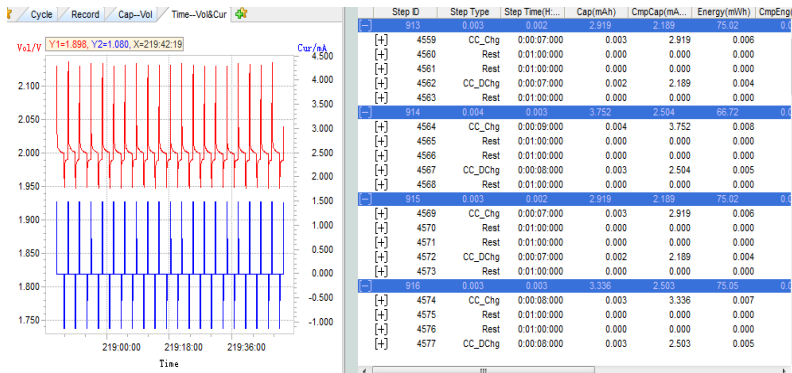
Pada waktu pelaksanaannya *protect* ini terjadi karena beberapa faktor, diantaranya karena telah melewati kondisi batas atas maupun batas bawah dari *setting* yang telah dibuat. *Protect* terjadi karena adanya sentuhan dari luar yang mengenai sampel uji sehingga posisi sampel tidak stabil (grid plat positif mengenai grid plat negatif) maka terhentinya proses pengujian baterai. *Protect* ini juga disebabkan posisi *battery analyzer* yang berdekatan dengan alat uji lainnya. Selain itu pengujian *cycle life* sampel yang membutuhkan waktu yang lama hingga sampel rusak (tidak dapat bereaksi) menyebabkan *protect* makin sering terjadi.



Gambar 4.18 *Protect* pada *Battery Analyzer*

4.7.2 Discharging singkat

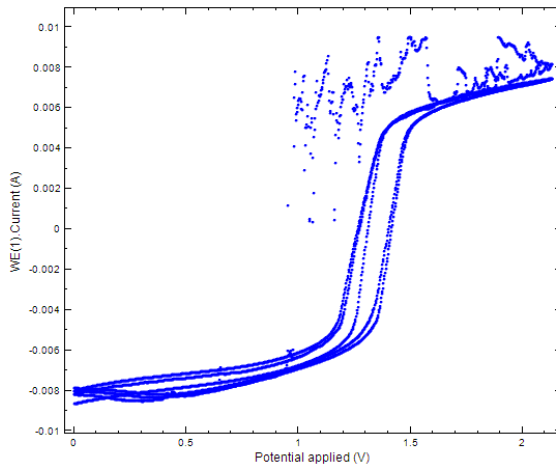
Discharging singkat merupakan kondisi dimana proses *discharging* baterai hanya berlangsung beberapa detik atau beberapa menit saja. Hal ini terjadi akibat menurunnya pefoma baterai terhadap kapasitasnya yang terlihat pada gambar 4.19.



Gambar 4. 19 Discharge singkat

4.7.3 Noise pada Uji Cyclic Voltammetry

Noise atau gangguan pada alat potensiostat ini terjadi karena adanya faktor luar atau eksternal yang menyebabkan grafik *voltammogram* hasil pengujian menjadi tidak akurat. Beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya *noise* diantaranya adalah getaran, sentuhan dan suara pengganggu lainnya. *Noise* pada uji *cyclic voltammetry* terlihat di gambar 4.20.



Gambar 4.20 Grafik *voltammogram* yang memiliki *noise*

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian pelapisan *cell* baterai *lead-acid* dengan menggunakan *carbon materials* adalah sebagai berikut:

1. *Cell* baterai yang dilapisi material karbon berupa *acetylene black* dan norit memiliki pengaruh pada baterai, yaitu meningkatkan *cycle life* baterai dari 9 siklus menjadi 1000 siklus serta meningkatkan kapasitas *charge dan discharge cell* baterai.
2. *Cell* baterai yang memiliki kapasitas *charge dan discharge* dari yang tertinggi hingga terendah adalah *cell* baterai yang dilapisi *acetylene black*, norit dan standar.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya kalibrasi alat *battery analyzer* sehingga hasil pengujian lebih akurat.
2. Proses *handling* dan penyimpanan untuk plat negatif standar sebaiknya dilakukan dengan hati – hati agar tidak terjadi oksidasi pada plat negatif.
3. Perlu adanya inovasi dalam melapisi plat yakni dengan menggabungkan dua jenis *carbon materials* untuk mendapatkan kapasitas dan konduktivitas baterai yang lebih besar.
4. Dilakukannya pengujian SEM dan XRD untuk mengetahui fasa dan struktur kristal plat uji.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Navigant, Pike Research, Advanced Lead-Acid Batteries,(n.d.).<http://www.navigantresearch.com/wp-content/uploads/2012/12/ALAB-12-Executive-Summary.pdf> (accessed April 4, 2017).
- [2] A.Cooper, Development of a lead-acid battery for a hybrid electric vehicle, J. Power Sources 133 (2004) 116-125
- [3] T.B. Reddy, D. Linden, Linden's handbook of batteries, (2011).
<http://accessengineeringlibrary.com/browse/lindens-handbook-of-batteries-fourth-edition>.
- [4] P.T.Moseley, Consequences of including carbon in the negative plates of Valve-regulated Lead–Acid batteries exposed to high-rate partial-state-of-charge operation, J. Power Sources 191(2009)134-138
- [5] J.Furukawa, et al., Further demonstration of the VRLA-type Ultra-Battery under medium-HEV duty and development of the flooded-type Ultra-Battery for micro-HEV applications, J. Power Sources 195 (2010) 1241-1245
- [6] L.T.Lam, et al., Failure mode of valve-regulated lead-acid batteries under high-rate partial-state-of-charge operationOriginal, J. Power Sources 133 (2004)126-134
- [7] K.R.Bullock, Carbon reactions and effects on valve-regulated lead-acid (VRLA) battery cycle life in high-rate, partial state-of-charge cycling, J. Power Sources 195 (2010) 4513-4519
- [8] K.Nakamura, et al., Failure modes of valve-regulated lead/acid batteries, J. Power Sources 59 (1996) 153-157
- [9] M.Calabek, et al., Significance of carbon additive in negative lead-acid battery electrodes, J. Power Sources 158 (2006)864-867
- [10] S.W.Swogger, et al., Discrete carbon nanotubes increase lead acid battery charge acceptance and performance, J. Power Sources 261 (2014) 55-63

- [11] N.Sugumaran, et al., Lead acid battery performance and cycle life increased through addition of discrete carbon nanotubes to both electrodes, *J. Power Sources* 279 (2015) 281-293
- [12] A.Cooper, et al., The UltraBattery—A new battery design for a new beginning in hybrid electric vehicle energy storage, *J. Power Sources* 188 (2009) 642-649
- [13] B. Averill, P. Eldredge, *General chemistry: principles, patterns, and applications*, (2011).
- [14] X.Zou, et.al., Effect of carbon additives on performance of negative electrode of lead carbon battery, *Electrochimica Acta* 151 (2015) 89-98.
- [15] A. Jossen, J. Garche, D.U. Sauer, Operation conditions of batteries in PV applications, *Sol. Energy*. 76 (2004) 759–769.
- [16] D.Pavlov, et al., Influence of expander components on the processes at the negative plates of lead-acid cells on high-rate partial-state-of-charge cycling. Part I: Effect of lignosulfonates and BaSO₄ on the processes of charge and discharge of negative plates, *J. Power Sources* 195 (2010) 4444-4457.
- [17] M. Fernandez, et. al., The use of activated carbon and graphite for the development of lead-acid batteries for hybrid vehicle applications, *J. Power Sources* 195 (2010) 4458-4469
- [18] D.Pavlov, et. al., Influence of carbon on the structure of the negative active material of lead acid batteries and on battery performance, *J. Power Sources* 196 (2011) 5155-5167.
- [19] A. Jaiswal, S.C Chalasani, et.al., The role of carbon in the negative plate of the lead–acid battery, *J. Power Sources* (2015).
- [20] D.P Boden, D.V. Loosemore, *Expanders for Lead Acid Batteries, Patent Application Publication* (2009)

- [21] S. Jagannathan, M.M. Vargonen, P.D Korinek, P.K. Adanuvor, *Advanced Graphite Additive for Enhanced Cycle-Life of Deep Discharge Lead Acid Batteries*
- [22] Khafidatus Nurul, “Analisis Rekayasa Elektroda Dengan Penambahan Carbon Additive Plat Positif Baterai Lead Acid Untuk Memperpanjang Cycle Life”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2017).

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

- Data *discharge* pengujian *cell* baterai yang dilapisi *acetylene black* dan norit serta plat standar dengan alat *battery analyzer*

Siklus	Waktu (Jam)			Voltage (Volt)			Kapasitas (mAh)		
	Standar	Acetylene Black	Norit	Standar	Acetylene Black	Norit	Standar	Acetylene Black	Norit
1	0.000278	0.000278	0.00028	1.9115	1.947	1.941	0	0	0
2	10.12361	23.2	31.1	1.9983	2.012	2.044	11.409	26.129	25.04
3	11.15111	26.367	28.55	2.0114	2.035	2.053	12.567	29.688	32.17
4	10.08556	17.832	16.01	2.0176	2.051	2.066	11.364	20.072	18.16
5	8.117778	12.64	8.56	2.0222	2.063	2.068	9.147	14.232	9.65
6	7.279722	4.88	0.1633	2.0228	2.064	2.053	8.2	5.496	0.184
7	7.541389	0.263	0.1288	2.0265	2.062	2.052	8.499	0.297	0.145
8	4.049444	0.189	0.1122	2.029	2.06	2.052	4.562	0.214	0.126
9	1.878889	0.154	0.1022	2.029	2.058	2.05	2.116	0.174	0.115
10		0.132	0.09722		2.057	2.052		0.149	0.11
11		0.113	0.0925		2.056	2.052		0.128	0.104
12		0.102	0.088		2.055	2.052		0.115	0.099
13		0.0952	0.084		2.054	2.052		0.107	0.095
14		0.095	0.082		2.053	2.052		0.102	0.093
15		0.086	0.081		2.053	2.052		0.097	0.091
16		0.082	0.0878		2.052	2.052		0.093	0.089
17		0.0797	0.06		2.052	2.052		0.09	0.086
18		0.077	0.075		2.052	2.052		0.087	0.085
19		0.0736	0.074		2.051	2.053		0.083	0.084
20		0.07	0.073		2.05	2.053		0.079	0.083

21		0.0669	0.072		2.049	2.053		0.075	0.082
22		0.0647	0.0711		2.048	2.052		0.073	0.08
23		0.063	0.069		2.048	2.052		0.071	0.079
24		0.0611	0.068		2.048	2.052		0.069	0.077
25		0.058	0.0686		2.047	2.052		0.067	0.077
26		0.0578	0.0683		2.047	2.054		0.065	0.076
27		0.0569	0.0677		2.046	2.054		0.064	0.075
28		0.0558	0.0669		2.046	2.054		0.063	0.075
29		0.055	0.066		2.046	2.054		0.062	0.075
30		0.0536	0.065		2.045	2.054		0.06	0.074
31		0.0525	0.0647		2.045	2.054		0.059	0.073
32		0.0511	0.0638		2.044	2.054		0.058	0.072
33		0.0494	0.0633		2.043	2.054		0.056	0.071
34		0.048	0.063		2.042	2.054		0.054	0.071
35		0.0472	0.0619		2.043	2.053		0.053	0.07
36		0.0463	0.0613		2.041	2.054		0.052	0.069
37		0.0461	0.06		2.042	2.054		0.052	0.068
38		0.0461	0.0597		2.041	2.054		0.052	0.067
39		0.0463	0.0583		2.042	2.053		0.052	0.066
40		0.0463	0.0575		2.042	2.053		0.052	0.065
41		0.0472	0.0556		2.043	2.053		0.053	0.064
42		0.0475	0.0556		2.043	2.053		0.053	0.064
43		0.048	0.0558		2.043	2.053		0.054	0.064
44		0.0486	0.061		2.044	2.053		0.055	0.064
45		0.0488	0.06		2.045	2.053		0.055	0.063
46		0.0483	0.0555		2.044	2.053		0.054	0.063
47		0.0478	0.0552		2.044	2.052		0.054	0.062
48		0.0469	0.054		2.044	2.053		0.053	0.061
49		0.0463	0.053		2.043	2.052		0.052	0.06

50		0.0458	0.0522		2.043	2.052		0.052	0.059
----	--	--------	--------	--	-------	-------	--	-------	-------

- Data *charge* pengujian *cell* baterai yang dilapisi *acetylene black* dan norit serta plat standar dengan alat *battery analyzer*

Siklus	Waktu (jam)			Voltage (volt)			Kapasitas (mAh)		
	Standar	Acetylene Black	Norit	Standar	Acetylene Black	Norit	Standar	Acetylene Black	Norit
1	5.1558	4.093	4.1	1.949	1.961	1.966	7.739	6.143	6.15
2	8.6983	18.177	21.92	1.977	1.978	1.979	13.055	27.282	32.93
3	8.4744	15.77	14.75	1.98	1.989	1.988	12.72	23.667	22.172
4	6.0081	11.83	8.4	1.982	1.996	1.998	9.014	17.752	12.623
5	7.1575	4.775	0.09389	1.985	1.993	2.003	10.743	7.163	0.141
6	6.0394	0.211	0.08056	1.99	1.997	2.01	9.063	0.318	0.121
7	3.6867	0.15	0.07389	1.991	2	2.011	5.534	0.227	0.111
8	1.4533	0.125	0.06972	1.998	2	2.012	2.182	0.188	0.105
9	2.175	0.109	0.06722	2.001	2	2.012	3.264	0.165	0.101
10		0.095	0.06556		2.001	2.012		0.143	0.098
11		0.084	0.0636		2.003	2.012		0.127	0.096
12		0.078	0.0619		2.004	2.012		0.118	0.093
13		0.075	0.06		2.003	2.014		0.113	0.091
14		0.0713	0.06		2.004	2.015		0.107	0.091
15		0.0683	0.0594		2.005	2.012		0.103	0.089
16		0.065	0.0583		2.005	2.015		0.098	0.088
17		0.063	0.0578		2.005	2.012		0.096	0.087
18		0.0611	0.0569		2.006	2.012		0.092	0.086
19		0.058	0.0567		2.03	2.012		0.0987	0.085
20		0.055	0.0567		2	2.012		0.083	0.085
21		0.053	0.0561		2.008	2.015		0.08	0.084

22		0.051	0.0552		2.008	2.015		0.078	0.083
23		0.0505	0.0544		2.008	2.014		0.076	0.082
24		0.0488	0.0544		2.009	2.012		0.073	0.082
25		0.0475	0.0544		2.009	2.012		0.071	0.082
26		0.0467	0.0541		2.009	2.015		0.07	0.081
27		0.0461	0.0538		2.005	2.012		0.069	0.081
28		0.045	0.0536		2.011	2.014		0.068	0.081
29		0.0441	0.0533		2.011	2.012		0.066	0.08
30		0.043	0.0525		2.01	2.012		0.065	0.079
31		0.0419	0.0519		2.011	2.015		0.063	0.078
32		0.0405	0.0513		2.012	2.012		0.061	0.077
33		0.0394	0.0511		2.013	2.012		0.059	0.077
34		0.0383	0.0505		2.012	2.012		0.058	0.076
35		0.0375	0.0502		2.012	2.013		0.056	0.076
36		0.0375	0.049		2.012	2.013		0.056	0.075
37		0.0375	0.048		2.011	2.013		0.056	0.073
38		0.0375	0.0478		2.012	2.013		0.056	0.072
39		0.0378	0.0475		2.012	2.013		0.057	0.071
40		0.0386	0.0467		2.01	2.014		0.058	0.07
41		0.0388	0.0467		2.011	2.014		0.058	0.07
42		0.03916	0.0467		2.01	2.013		0.059	0.07
43		0.03944	0.0458		2.011	2.014		0.059	0.069
44		0.04	0.0458		2.01	2.014		0.06	0.069
45		0.0397	0.0461		2.01	2.013		0.06	0.069
46		0.03916	0.0458		2.01	2.014		0.059	0.069
47		0.0386	0.045		2.011	2.014		0.058	0.068
48		0.038	0.044		2.011	2.014		0.057	0.066
49		0.0372	0.043		2.011	2.015		0.056	0.065
50		0.0369	0.042		2.012	2.016		0.055	0.063

- Data *discharge* pengujian plat negatif yang dilapisi *acetylene black* dan norit serta plat standar dengan alat *battery analyzer*

CYCLE	WAKTU (jam)			VOLTASE (volt)			KAPASITAS (mAh)		
	standar	norit	AB	standar	norit	AB	standar	norit	AB
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.00028	4.0269	22.79	1.9115	1.9549	1.9552	0	9.499	25.678
2	10.1236	1.3117	21.427	1.9983	1.9844	2.0483	11.409	20.633	24.138
3	11.1511	0.2294	28.269	2.0114	2.012	2.0585	12.567	21.784	31.834
4	10.0856	21.284	14.84	2.0176	2.0312	2.0696	11.364	24.403	16.716
5	8.11778	9.9572	0.2386	2.0222	1.9571	2.0616	9.147	4.538	0.269
6	7.27972	0.0003	0.1783	2.0228	2.0194	2.0591	8.2	1.477	0.201
7	7.54139	0.0167	0.1489	2.0265	1.9717	2.0585	8.499	0.258	0.168
8	4.04944		0.1331	2.029	2.0315	2.0582	4.562	23.987	0.15
9	1.87889		0.1242	2.029	2.0476	2.0579	2.116	11.214	0.14
10			0.1172		1.888	2.0582		0	0.132
11			0.11		2.0424	2.0579		0.019	0.124
12			0.1036			2.0576			0.117
13			0.1003			2.0572			0.113
14			0.0242			2.0579			0.027
15			0.0942			2.0579			0.106
16			0.0908			2.0576			0.102
17			0.0872			2.0576			0.098
18			0.0842			2.0572			0.095
19			0.0811			2.0569			0.091
20			0.0786			2.0566			0.089
21			0.0767			2.0566			0.086
22			0.0747			2.0563			0.084
23			0.0722			2.0563			0.081

24		0.0692		2.0557		0.078
25		0.0672		2.0554		0.076
26		0.0656		2.0551		0.074
27		0.065		2.0551		0.073
28		0.0642		2.0548		0.072
29		0.0625		2.0548		0.07
30		0.0622		2.0548		0.07
31		0.0617		2.0548		0.069
32		0.06		2.0545		0.068
33		0.0581		2.0541		0.065
34		0.0567		2.0538		0.064
35		0.0553		2.0535		0.062
36		0.0542		2.0529		0.061
37		0.0528		2.0526		0.059
38		0.0522		2.0526		0.059
39		0.0514		2.0523		0.058
40		0.0506		2.052		0.057
41		0.0503		2.052		0.057
42		0.0492		2.0526		0.055
43		0.0489		2.052		0.055
44		0.0481		2.0514		0.054
45		0.0478		2.0514		0.054
46		0.0469		2.051		0.053
47		0.0464		2.051		0.052
48		0.0458		2.0507		0.052
49		0.045		2.0501		0.051
50		0.0447		2.0498		0.05

- Data *charge* pengujian plat negatif yang dilapisi *acetylene black* dan norit serta plat standar dengan alat *battery analyzer*

CYCLE	WAKTU (jam)			VOLTASE (volt)			KAPASITAS (mAh)		
	standar	norit	AB	standar	norit	AB	standar	norit	AB
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	5.1558	6.1581	21.829	1.9494	2.0574	1.9813	7.739	18.82	32.762
2	8.6983	0.0486	10.519	1.9769	2.0829	2.0036	13.055	27.763	15.782
3	8.4744	1.7194	15.32	1.9797	2.1079	1.9881	12.72	23.99	22.987
4	6.0081	10.178	0.1458	1.9819	2.0892	1.9952	9.014	0.45	0.219
5	7.1575	0.0025	0.1197	1.985	1.9869	2.0014	10.743	9.262	0.18
6	6.0394	0.0283	0.1083	1.99	2.0092	2.0011	9.063	0.073	0.163
7	3.6867		0.1	1.9906	2.0092	2.0011	5.534	2.586	0.15
8	1.4533		0.0953	1.9983	2.0179	2.0011	2.182	15.309	0.143
9	2.175		0.0931	2.0008	4.9984	2.0349	3.264	0.043	0.14
10			0.0883		2.0334	2.0008		0.003	0.133
11			0.0844			2.0039			0.127
12			0.0814			2.0017			0.122
13			0.0786			2.0011			0.118
14			0.0769			1.9996			0.115
15			0.0742			2.0014			0.111
16			0.0719			2.0014			0.108
17			0.0697			2.0017			0.105
18			0.0678			2.0014			0.102
19			0.0664			2.0017			0.1
20			0.0653			2.0021			0.098
21			0.0633			2.0017			0.095
22			0.0606			2.0027			0.091

23		0.0589		2.0021		0.088
24		0.0575		2.0024		0.086
25		0.0578		2.0021		0.087
26		0.0575		2.0021		0.086
27		0.0561		2.0027		0.084
28		0.0558		2.0024		0.084
29		0.0556		2.0024		0.083
30		0.0547		2.0024		0.082
31		0.0528		2.0021		0.079
32		0.0508		2.0033		0.076
33		0.0497		2.0033		0.075
34		0.0483		2.0036		0.073
35		0.0472		2.0042		0.071
36		0.0469		2.0021		0.07
37		0.0461		2.0039		0.069
38		0.0456		2.0042		0.068
39		0.045		2.0042		0.068
40		0.0442		2.0045		0.066
41		0.0436		2.0048		0.065
42		0.0428		2.0042		0.064
43		0.0425		2.0048		0.064
44		0.0419		2.0048		0.063
45		0.0414		2.0045		0.062
46		0.0406		2.0055		0.061
47		0.04		2.0055		0.06
48		0.0397		2.0058		0.06
49		0.0394		2.0061		0.059
50		0.0389		2.0064		0.058

BIODATA PENULIS



Putri Kusuma Negari, dilahirkan pada tanggal 8 November 1994 di Pekanbaru. Merupakan anak ke 6 dari 6 bersaudara dari pasangan Alm. Sumarno dan Dadah Saodah. Penulis menempuh pendidikan sekolah di SDN 005 Rumbai, SMPN 6 Pekanbaru dan SMAN 1 Pekanbaru.

Setelah lulus dari SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan tingginya di Jurusan Teknik Mesin FTI ITS melalui jalur SNMPTN dengan mengambil bidang studi Rekayasa Sistem Industri. Selama menjasi mahasiswa, penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. PJB Paiton 9.

Penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan dan kepanitiaan *Chief* dan Ketua acara *Charity Mechanical City 2015* serta menjadi Staf Ahli HRD ormawa *Mesin Music Club*. Penulis dapat dihubungi melalui *email* berikut: putrikusumanegari@gmail.com