



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 141585

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

VINCENTIA ANNA SWANDEWI
NRP 0211134000041

Dosen Pembimbing
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

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



TUGAS AKHIR – TM141585

ANALISIS PENGARUH PELAPISAN *CARBON MATERIALS* PADA PLAT NEGATIF *LEAD-ACID BATTERY* TERADAP *CYCLE LIFE*

VINCENTIA ANNA SWANDEWI
NRP. 2113100041

Dosen Pembimbing:
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

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



FINAL PROJECT – TM141585

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF CARBON
MATERIALS COATING ON NEGATIVE PLATE TO
CYCLE LIFE**

VINCENTIA ANNA SWANDEWI
NRP. 2113100041

Advisory Lecturer:
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

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

**ANALISIS PENGARUH PELAPISAN *CARBON*
MATERIALS PADA 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 Noverber

Oleh :

Vincentia Anna Swandewi
Nrp. 0211134000041

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

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



SURABAYA
Januari, 2018

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

Nama Mahasiswa : Vincentia Anna Swandewi
NRP : 2113100041
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstrak

Dalam penelitian ini dilakukan upaya untuk meningkatkan usia baterai lead-acid (cycle life) menggunakan dua jenis karbon yang memiliki luas permukaan dan jenis porositas yang berbeda. Carbon materials yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon aktif (activated carbon) yaitu norit dan acetylene black. Jika penelitian yang dilakukan oleh D. Pavlov, P Nikolov, T.Rogachev dengan mencampur karbon ke dalam masa aktif, penelitian ini berusaha meningkatkan efektifitas penambahan karbon dengan cara melapiskannya pada permukaan elektroda negatif.

Penelitian ini diawali pelapisan Pb dengan karbon (norit dan acetylene black). Pelapisan dilakukan dengan cara bubuk karbon diberi tambahan CMC (Carboxymethyl cellulose) dengan perbandingan 5:1, kemudian diberikan beberapa tetes aquades hingga bertekstur pasta. Tahap percobaan yang kedua adalah merangkai plat uji. Rangkaian plat uji terdiri dari plat positif dan negatif yang diikat dengan benang nylon, dan diberi kertas separator diantara plat. Tahap yang ketiga adalah pengujian baterai lead-acid yang telah dilapisi norit serta acetylene black. Pengujian charging dan discharging menggunakan alat 8-Channel Battery Analyzer dan Potentiostat.

Hasil yang ditunjukkan pada penelitian ini adalah pelapisan carbon materials di plat negatif memberikan pengaruh terhadap cycle life baterai lead-acid. Pelapisan plat negatif menggunakan acetylene black memiliki cycle life yang paling banyak yaitu 649 cycle. Setelah itu norit 11 cycle dan paling sedikit plat standar hanya 9 cycle. Hasil dari cyclic voltammetry (potentiostat) adalah kapasitas yang dimiliki plat, dimana kapasitas tertinggi dimiliki oleh norit, sedangkan kapasitas terendah dimiliki oleh acetylene black.

Kata kunci : Activated Carbon, Charging, Cycle Life, Cyclic Voltammetry, Discharging, Lead-Acid Battery.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF CARBON MATERIALS COATING ON NEGATIVE PLATE TO CYCLE LIFE

Student's Name : Vincentia Anna Swandewi
NRP : 2113100041
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Supervisor : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstract

This research tried to improve lead-acid battery cycle life using two kinds of carbon with different surface area and porosity type. Carbon materials used in this research is activated carbon which is norit and acetylene black. Though research that has been done by D. Pavlov, P. Nikolov., T. Rogachev mixing carbon into activated mass, this research tried to increase effectivity of carbon adding by coat it to the surface of negative electrode.

This research started by coating of Pb with carbon (norit and acetylene black). Coating was done by carbon powder that has been added by CMC (Carboxymethyl Cellulose) with ratio 5:1, then added by few drops of aquades until has paste texture. Second step of the experiment is assembled test plate. Test plate assembly consist of positive and negative plate connected by nylon string and given separator paper between plates. The third step is testing the lead-acid battery that has been coated by norit and acetylene black. Charging and discharging test using 8-Channel Battery Analyzer and Cyclic Voltammetry.

The results shown in this research are carbon materials coating in negative plate affected lead-acid battery cycle life. Negative plate coating with acetylene black has more cycle life which are 649 cycles. Followed by norit with 11 cycles and the least of all standard plate with only 9 cycles. The result from cyclic

voltammetry (potentiostat) is plate capacity, which highest capacity is norit and lowest capacity is acetylene black.

Keywords : Activated Carbon, Charging, Cycle Life, Cyclic Voltammetry, Discharging, Lead-Acid Battery.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan yang Maha Esa, karena dengan karunia-Nya penulisan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan persyaratan kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.

Penulis menyadari keberhasilan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah dan Ibu tercinta, Drs. John Sugiarto dan Dra. Maria Hari Suryawati, M.Pd, yang selalu mendoakan, menyemangati, dan memberikan dukungan baik secara moril maupun materiil kepada penulis. Terima kasih juga kepada adik-adik tersayang, Laurentia Shinta K. dan Carolus Raditya S. yang senantiasa menghibur dan mendukung penulis.
2. Bapak Ir. Witantyo, M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan arahan, petunjuk, semangat, dan membimbing penulis dengan penuh kesabaran.
3. Bapak Ari Kurniawan, ST., MT., Bapak Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc., dan Bapak Suwarno, ST., M.Sc., PhD selaku dosen penguji pada Proposal dan Tugas Akhir yang telah memberikan saran dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Fahmi dan rekan-rekan Laboratorium Elektrokimia Teknik Kimia ITS yang telah membantu dalam pengambilan data.
5. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu penulis atas pengetahuan dan pembelajaran yang telah diberikan.

6. M. Fahmi Adrian yang selalu mendukung penulis, serta terima kasih atas pemberian *keyboard* baru karena sangat menunjang penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. N. Putu Irma Christina, Malinda Silvy, Amanda Putri D, Nadya Baskoro, Cory Dwi P, Christina Agustin yang selalu bersedia memberikan motivasi dan mendengarkan curahan hati penulis.
8. Putri Kusuma Negari, sebagai rekan pengerjaan tugas akhir, M. Ihsan, Faiz Imawan, Adrian Bayu, Chairil R, Sarah Ega, Romario, Nabil, Rexa Nareswara, Bramantio, Diastanto, Delia, Andre yang telah berjuang bersama dalam pengerjaan Tugas Akhir.
9. Teman-teman Laboratorium Rekayasa Sistem Industri dan angkatan M56 yang telah memberikan dukungan kepada penulis.
10. Serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

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

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
Abstrak.....	i
Abstract	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II.....	9
TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Dasar Teori.....	9
2.1.1 Struktur dan Reaksi pada Baterai <i>Lead-acid</i>	9
2.1.2 Kerusakan pada Plat Negatif.....	14
2.1.3 <i>Carbon Additive</i>	16
2.1.3 <i>Cyclic Voltammetry</i>	20
2.2 Penelitian Terdahulu.....	22

2.2.1 Masalah yang Dibahas	22
2.2.2 Metode yang Digunakan	22
2.2.3 Hasil Penelitian.....	24
BAB III	31
METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Studi Literatur	35
3.3 Melakukan Percobaan	35
3.3.1 Peralatan dan Bahan yang Digunakan	35
3.3.2 Pelapisan Plat Negatif Baterai <i>Lead-acid</i>	38
3.3.3 Pengujian Menggunakan <i>8 Channels Battery Analyzer</i>	39
3.3.4 Pengujian Menggunakan <i>Potentiostat</i>	41
3.4 Metode Pengambilan Data.....	42
3.5 Analisa Data dan Pembahasan.....	42
3.6 Kesimpulan dan Saran	42
BAB IV	43
ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 <i>Carbon Materials</i> pada <i>Negative Active Material</i> (NAM).....	43
4.2 Pembuatan Plat Baterai Uji.....	46
4.2.1 Pembuatan Plat Baterai Elektroda Standar	46
4.2.2 Pembuatan <i>Plat</i> Baterai Plat Negatif yang Dilapisi <i>Acetylene Black</i>	47
4.2.3 Pembuatan <i>Plat</i> Baterai Plat Negatif yang Dilapisi Norit	49

4.3 Pengujian dengan 8-Channel Battery Analyzer	50
4.3.1 Pengaturan Alat Uji 8-Channel Battery Analyzer	50
4.3.2 Kondisi <i>Charging</i> dan <i>Discharging</i> pada 8-Channel <i>Battery Analyzer</i>	52
4.4 Hasil Pengujian dengan 8-Channel Battery Analyzer	53
4.4.1 Pengujian Plat Standar	54
4.4.2 Pengujian Plat Negatif Dilapisi <i>Acetylene Black</i>	56
4.4.3 Pengujian Plat Negatif Dilapisi Norit	57
4.4.4 Grafik Voltase dan Kapasitas Pengujian 8-Channel <i>Battery Analyzer</i> Terhadap <i>Cycle Number</i>	59
4.5 Hasil Pengujian dengan <i>Potentiostat</i>	61
4.5.1 Pengujian Plat Standar Negatif	62
4.5.2 Pengujian Plat Negatif Dilapisi <i>Acetylene Black</i>	63
4.5.3 Pengujian Plat Negatif Dilapisi Norit	64
4.6 Kegagalan dan Kendala Dalam Percobaan	67
4.6.1 <i>Protect</i>	67
4.6.2 <i>Discharging</i> Terlalu Cepat.....	67
4.6.3 <i>Noise</i> pada Uji CV	68
BAB V	71
KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN.....	75
BIODATA PENULIS	79

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pengaruh Kedalaman Discharge (Deep of Discharge) Terhadap Usia Baterai	2
Gambar 1.2 Pengaruh <i>Deep of Discharge</i> Terhadap Usia Baterai untuk Beberapa Jenis Baterai	3
Gambar 2.1 Rangkaian Baterai <i>Lead-acid</i> pada Satu Sel Baterai 10	
Gambar 2.2 Diagram Aliran Ion dan Elektron pada Sel <i>Lead-Acid</i> Saat <i>Discharge</i>	12
Gambar 2.3 Potongan Melintang pada Plat Negatif yang Menunjukkan Adanya <i>Sulphation</i> ^[12]	15
Gambar 2.4 Struktur Mikro NAM dengan perbedaan konsentrasi PRU (a) 0,2 wt% PRU, (b) 1 wt% PRU, (c) 2,0 wt% PRU	18
Gambar 2.5 <i>Cyclic Voltammogram</i>	21
Gambar 2. 6 Perbedaan Karakteristik <i>Activated Carbon</i> (AC) dan <i>Carbon Black</i> (CB)	22
Gambar 2.7 Grafik <i>Discharge</i> dengan Penambahan AC pada Perbedaan Laju <i>Discharge</i> (a: 1C, b: 2C) Kondisi HRPSoC	25
Gambar 2.8 Grafik <i>Discharge</i> dengan Penambahan CB pada Perbedaan Laju <i>Discharge</i> (a: 1C, b: 2C) Kondisi HRPSoC	26
Gambar 2.9 Hasil SEM Elektroda Negatif dengan Perbedaan Penambahan AC (a: 0%, b: 0,2%, c: 0,5%) Setelah 2000 Siklus 27	
Gambar 2.10 Hasil SEM Elektroda Negatif dengan Perbedaan Penambahan CB (a: 0%, b: 0,2%, c: 0,5%) Setelah 2000 Siklus 28	
Gambar 2. 11 Ilustrasi Kondisi Plat Negatif (a: Tanpa <i>Carbon Additive</i> , b: dengan <i>Carbon Additive</i>) Dalam Kondisi HRPSoC 29	
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	32

Gambar 3.2 Diagram Alir Pengujian Dengan 8-Channel <i>Battery Analyzer</i>	34
Gambar 3.3 Plat Positif dan Plat Negatif Standar	37
Gambar 3.4 Plat Negatif yang Dilapisi <i>Carbon Materials</i> ; a. Norit, b. <i>Acetylene Black</i>	37
Gambar 3.5 8-Channel <i>Battery Analyzer</i>	39
Gambar 3.6 Autolab	41
Gambar 4.1 Rangkaian Plat Standar Siap Diuji: a. Sebelum Dimasukkan Dalam Kuvet, b. Berada Dalam Kuvet	47
Gambar 4. 2 Rangkaian Plat yang Dilapisi <i>Acetylene Black</i> Siap Diuji: a. Sebelum Dimasukkan Dalam Kuvet, b. Berada Dalam Kuvet.....	48
Gambar 4.3 Lembar Pengaturan Pengujian 8- <i>Channel Battery Analyzer</i>	51
Gambar 4.4 Tampilan <i>Channel</i> : a. Kondisi <i>Discharging</i> , b. Kondisi <i>Charging</i>	53
Gambar 4.5 Grafik Voltase dan Arus Terhadap Waktu pada 8- <i>Channel Battery Analyzer</i> Pengaturan Lama	54
Gambar 4.6 Grafik Voltase dan Arus terhadap Waktu Pada Pengujian Plat Standar.....	55
Gambar 4.7 Grafik Voltase dan Arus terhadap Waktu Pada Pengujian Plat Negatif Dilapisi <i>Acetylene Black</i>	56
Gambar 4.8 Siklus Cepat di Pengujian Plat Negatif Dilapisi <i>Acetylene Black</i>	57
Gambar 4. 9 Grafik Voltase dan Arus terhadap Waktu Pada Pengujian Plat Negatif Dilapisi Norit <i>Cycle 1</i> Hingga <i>Cycle 4</i>	58
Gambar 4.10 Grafik Voltase dan Arus terhadap Waktu Pada Pengujian Plat Negatif Dilapisi Norit <i>Cycle 5</i> Hingga <i>Cycle 11</i> ..	59

Gambar 4.11 Grafik Kapasitas <i>Discharge</i> Terhadap <i>Cycle Number</i> di Plat Uji	60
Gambar 4.12 Grafik Kapasitas <i>Charge</i> Terhadap <i>Cycle Number</i> di Plat Uji	61
Gambar 4.13 Grafik CV Pengujian Plat Standar	63
Gambar 4.14 Grafik CV Pengujian Plat Negatif Dilapisi <i>Acetylene Black</i>	64
Gambar 4.15 Grafik CV Pengujian Plat Negatif Dilapisi Norit..	65
Gambar 4.16 Kondisi <i>Protect</i> Di Pengujian <i>8-Channel Battery Analyzer</i>	67
Gambar 4.17 Kondisi <i>Discharge</i> Terlalu Cepat.....	68
Gambar 4.18 Kondisi <i>Noise</i> Pada Uji CV	69

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beberapa Contoh <i>Carbon Additive</i> yang Tersedia.....	17
Tabel 4. 2 Perbandingan Kapasitas Plat Uji dengan 2 Alat Uji Yang Digunakan.....	66

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

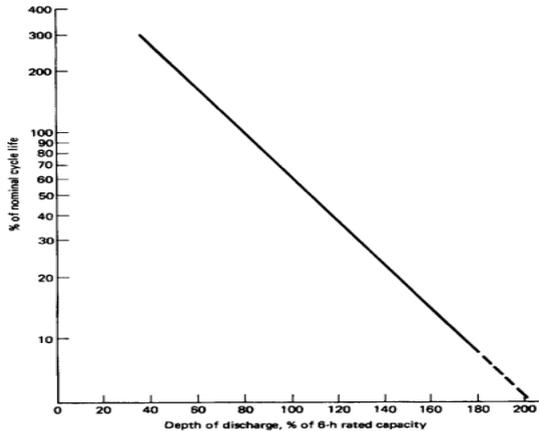
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi dan sains material penyimpan energi menjadi teknologi yang banyak dikembangkan. Material penyimpanan energi yang dimaksud adalah baterai. Berdasarkan jenisnya, baterai dibagi menjadi baterai primer dan baterai sekunder. *Lead-acid Battery* (Baterai Asam Timbal) adalah baterai sekunder dan telah lama dikenal yang digunakan untuk kendaraan maupun penyimpan energi stationer. Baterai *lead-acid* pertama kali ditemukan oleh Gaston Planté pada tahun 1859 dan digunakan hingga saat ini. Baterai *lead-acid* memiliki pasar yang besar meski teknologi baterai yang lain telah beredar di pasaran, karena *lead-acid* lebih ekonomis dan teruji keamanannya ketika digunakan^[1]. *Lead-acid* biasa digunakan sebagai *starter* mesin pada kendaraan *forklift*, dan beberapa jenis motor listrik. *Lead-acid* memiliki densitas energi yang rendah, sehingga belum digunakan sebagai sumber utama penggerak kendaraan (*motive power*). Untuk aplikasi yang stationer, dimana berat dan volume bukan hal yang krusial, maka *lead-acid* menarik untuk digunakan karena harga yang relatif lebih murah dibanding jenis baterai lain seperti NiMH dan Li-ion.

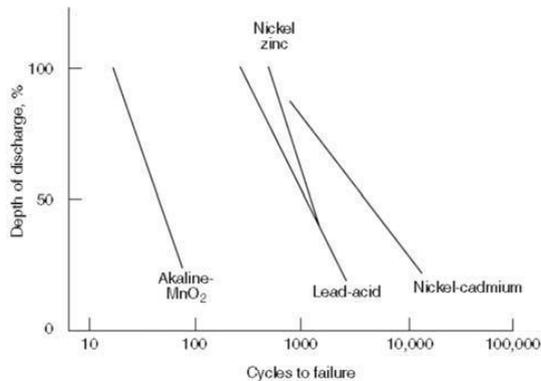
Baterai untuk otomotif dan baterai pada aplikasi stationer memiliki mode pengoperasian yang berbeda. Baterai otomotif umumnya maksimal menggunakan 20% *depth of discharge* (DoD). DoD menunjukkan besarnya arus listrik yang telah digunakan yang dihitung dalam persen. Semakin kecil nilai DoD maka jumlah cycle pada baterai

akan semakin besar, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Pengaruh Kedalaman *Discharge* (*Deep of Discharge*) Terhadap Usia Baterai ^[2]

Kendala yang muncul ketika menggunakan *lead-acid* baterai adalah kemampuan untuk meningkatkan kapasitas DoD dan menjamin *life cycle* yang panjang. Pada gambar 1.2 terlihat pengaruh *depth of discharge* terhadap usia pakai dari beberapa jenis baterai. Grafik tersebut menunjukkan bahwa hampir semua baterai mengalami pemendekan usia saat penggunaan mode DoD yang tinggi.



Gambar1.2 Pengaruh *Deep of Discharge* Terhadap Usia Baterai untuk Beberapa Jenis Baterai^[2].

Teknologi kendaraan *hybrid* sudah banyak dikembangkan untuk memperbaiki emisi gas buang kendaraan. Motor listrik dan motor bakar bekerja bergantian pada kendaraan *hybrid*. Baterai digunakan untuk menampung energi kinetik pada sistem *regenerative braking*. Baterai tersebut harus mampu *charge* dan *discharge* dengan frekuensi yang cukup tinggi dalam keadaan setengah terisi muatan. Kondisi ini dikenal dengan *High Rate Partial Stage of Charge* (HRPSoC)^[3]. Baterai *lead-acid* yang dioperasikan pada kondisi HRPSoC akan mudah rusak akibat pembentukan asam sulfat (*sulfation*) yang *irreversible* di elektroda negatif yang diikuti dengan kehilangan kapasitas. *Sulphation* bermula ketika elektroda negatif mengalami depolarisasi akibat rekombinasi oksigen pada baterai *lead-acid* dan stratifikasi asam. Selain itu, kerusakan baterai *Lead-acid* yang terjadi pada kondisi HRPSoC adalah naiknya *internal resistance* pada baterai dan kekeringan^[4].

Beberapa penelitian menyebutkan bahwa kerusakan tersebut dapat diatasi dengan menambahkan karbon sebagai *additive material* pada bahan *Negative Active Mass* (NAM)^[5]. Penggunaan karbon dapat meratakan penempelan molekul *lead sulfate* pada potongan melintang NAM, mengurangi *discharge* dan *charge current density*, serta memberikan jaringan konduktor saat terjadi *charging* untuk mempermudah terurainya *lead sulfate*. Selain itu, karbon dalam larutan H_2SO_4 berfungsi sebagai kapasitor dengan dua lapis elektroda, sehingga dapat menyimpan muatan saat *charging* dan *discharging*. Oleh karena itu diperoleh waktu tambahan dalam proses elektrokimia^[6].

Pada kendaraan *hybrid*, baterai yang umum digunakan adalah NiCd atau NiMH. Hasil penelitian tentang *additive* karbon pada baterai *lead-acid* sudah diuji coba pada kendaraan *hybrid*. Ultrabatt yang berbasis *lead-acid* sudah diuji coba untuk menggantikan baterai NiMH di kendaraan *hybrid* (Honda Insight). Jarak tempuh menggunakan baterai *lead-acid* mencapai 170.000 km dan kondisi baterai dalam keadaan baik^[7]. Hasil test tersebut menunjukkan baterai *lead-acid* yang murah dan hanya butuh sistem *charging* sederhana ternyata mampu melampaui kinerja baterai NiMH yang mana lebih mahal dan membutuhkan sistem *charging* yang kompleks dan butuh equalisasi.

Penelitian ini akan berfokus untuk membuktikan pengaruh penambahan *carbon materials* pada plat negatif terhadap usia pakai baterai. Jika penelitian sebelumnya dilakukan dengan mencampur karbon ke dalam masa aktif, penelitian ini berusaha meningkatkan efektifitas penambahan karbon dengan cara melapiskannya pada masa aktif elektroda

negatif. Untuk mendukung hasil dari penelitian ini, akan dilakukan perbandingan dua jenis *carbon materials* yaitu *activated carbon* dan *acetylene black*. *Carbon additive* yang biasa digunakan pada industri baterai terdiri dari dua jenis yaitu karbon dan grafit. *Acetylene black* memiliki keunggulan pada properties yang dimilikinya sehingga dapat menggantikan grafit. Manfaat terbesar yang diperoleh dari *acetylene black* adalah kemampuan untuk menahan elektrolit yang lebih banyak di katoda^[2]. Sel elektroda yang mengandung *acetylene black* biasanya dapat memberikan hasil yang memuaskan namun hanya sementara.

Activated carbon yang akan digunakan pada penelitian ini adalah Norit. Norit adalah karbon aktif yang memiliki campuran kandungan organik di dalamnya karena berasal dari tumbuh-tumbuhan. Di Indonesia, norit memiliki banyak manfaat seperti dibidang kesehatan sebagai obat keracunan atau di bidang kelestarian hidup sebagai penyerap limbah. Banyaknya manfaat dari norit disebabkan karena norit berpori-pori luas sehingga memiliki daya serap yang tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi objek penelitian ini adalah mencari pengaruh *carbon materials* pada plat negatif terhadap *cycle life* baterai *lead-acid*, serta membandingkan dua jenis *carbon materials* yaitu *activated carbon* dan *acetylene*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Pelapisan *carbon materials* dilakukan pada permukaan plat negatif baterai lead-acid.
- Plat negatif baterai *lead-acid* yang digunakan adalah elektroda standar milik PT. Indobatt.
- Plat positif baterai *lead-acid* yang digunakan adalah elektroda standar milik PT. Indobatt.
- 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.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Menemukan pengaruh pelapisan *carbon materials* pada plat negatif terhadap *cycle life* baterai *lead-acid*.
- Mengetahui perbandingan penggunaan *activated carbon* dengan *acetylene carbon* terhadap *cycle life* baterai *lead-acid*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Dapat mengetahui pengaruh pelapisan *carbon materials* pada plat negatif terhadap *cycle life* baterai *lead-acid*.
- Dapat mengetahui perbandingan penggunaan *activated carbon* dengan *acetylene carbon* terhadap *cycle life* baterai *lead-acid*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

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.

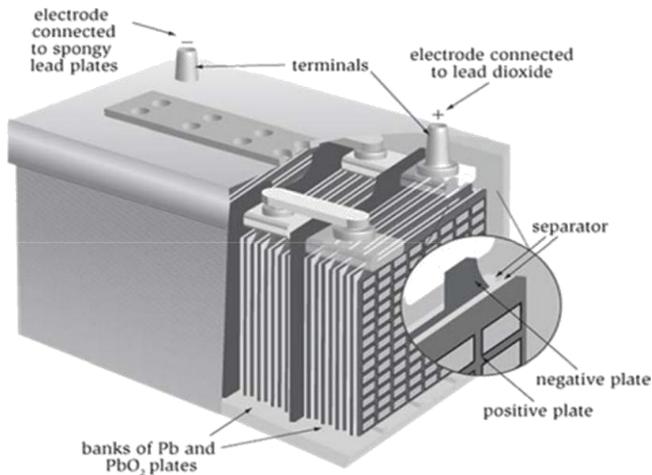
2.1 Dasar Teori

2.1.1 Struktur dan Reaksi pada Baterai *Lead-acid*

Akumulator atau yang biasa disebut dengan aki, merupakan alat penyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia. *Lead-acid battery* merupakan baterai (aki) yang menggunakan asam timbal sebagai bahan kimianya. *Lead-acid battery* terbagi menjadi dua jenis, yaitu *starting battery* dan *deep cycle battery*. *Starting battery* merupakan jenis aki yang dirancang mampu menghasilkan arus listrik yang tinggi dalam waktu singkat, sehingga dapat dijadikan untuk menyalakan mesin. Setelah mesin hidup, aki akan di *charge* kembali oleh *dynamo*, sehingga aki selalu terisi penuh arus listrik. Sedangkan *deep cycle battery* dapat menghasilkan arus listrik yang stabil dalam waktu yang lama, dan memiliki siklus *charge-discharging* berulang-ulang (*deep cycle*). *Deep cycle battery* dapat digunakan pada peralatan yang menggunakan motor listrik seperti *forklift*, mobil golf, dan kursi roda.

Gambar 2.1 merupakan rangkaian baterai *lead-acid* pada satu sel. Setiap sel memiliki beda potensial 2 volts. Pada

umumnya aki memiliki 3 atau 6 sel yang disusun seri agar dapat membentuk 6 hingga 12 volts. Elektrolit yang digunakan pada aki adalah larutan asam sulfat (H_2SO_4). Terdapat dua elektroda, elektroda positif yaitu timbal dioksida (PbO_2), dan elektroda negatif yaitu timbal (Pb). Diantara dua elektroda terdapat lapisan separator sebagai isolator untuk mencegah terjadinya arus pendek antar elektroda. Selain itu digunakan sebagai jalur pertukaran ion pada elektroda.



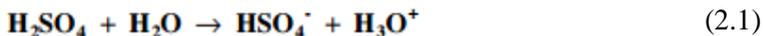
Gambar 2.1 Rangkaian Baterai *Lead-acid* pada Satu Sel Baterai^[2]

Sel pada baterai *lead-acid* menyimpan energi elektrokimia pada massa aktif yang melekat pada plat elektroda positif (*Positive Active Mass*) dan negatif (*Negative Active Mass*). Massa aktif tidak semata-mata sebagai lapisan tipis pada elektroda. Struktur massa aktif pada elektroda tersebut berpori dan ketebalannya diatur

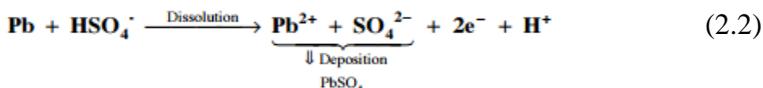
sesuai dengan kegunaan baterai. Penambahan ketebalan massa aktif dapat memberikan pengaruh pada pertambahan kapasitas dan *life cycle* baterai. Pada saat sirkuit eksternal dihubungkan ke kedua elektroda (elektroda positif dan elektroda negatif) elektron akan berpindah dari massa aktif yang satu ke massa aktif yang lain, sehingga komposisi di 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*, dengan kata lain akan menerima energi listrik dari sumber listrik pada saat kondisi *charge*^[9].

Reaksi kimia yang terjadi ketika peristiwa discharge adalah:

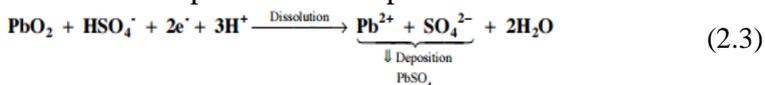
Reaksi dalam elektrolit:



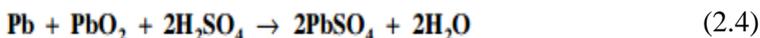
Reaksi pada elektroda negatif



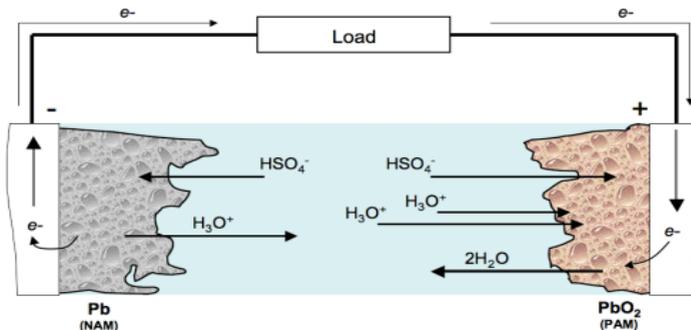
Reaksi pada elektroda positif



Reaksi keseluruhan



Reaksi pada persamaan (2.1) menunjukkan reaksi yang terjadi pada larutan elektrolit asam sulfat dan air ketika baterai digunakan. Air mampu memecah satu ion H^+ di asam sulfat, sehingga menghasilkan *hydronium* (H_3O^+). Reaksi hidrasi ini juga terjadi di elektroda negatif seperti pada persamaan (2.2), dimana timbal (Pb) bereaksi dengan ion pada asam sulfat sehingga menghasilkan PbSO_4 . Massa aktif negatif melepaskan elektron, dan bergerak melalui elektroda negatif, sambungan eksternal, lalu tiba di elektroda positif dimana elektron ini akan bereaksi dengan massa aktif positif dan elektrolit. Pada persamaan (2.3), massa aktif positif berkombinasi dengan ion sulfat membentuk HSO_4^- , ion hidrogen yang berasal dari H_3O^+ dan elektron, kemudian membentuk PbSO_4 beserta 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)^[9].

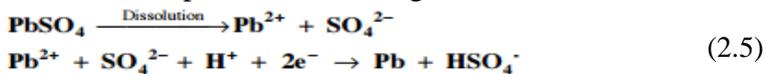


Gambar 2.2 Diagram Aliran Ion dan Elektron pada Sel *Lead-Acid* Saat *Discharge*^[9]

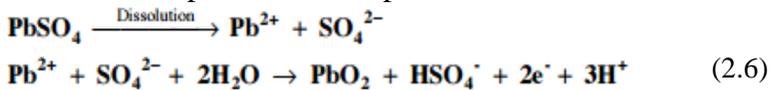
Berbeda dengan *discharge*, kondisi *charge* pada baterai terdiri atas reaksi primer dan reaksi sekunder. Reaksi sekunder menggunakan sebagian besar arus yang diperoleh dari sumber, namun tidak banyak berkontribusi dalam mengembalikan timbal sulfat menjadi timbal murni. Hal tersebut mengakibatkan efisiensi *charge* baterai berkurang.

Reaksi kimia yang terjadi saat *charge* adalah:

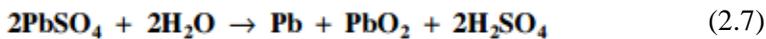
Reaksi pada elektroda negatif:



Reaksi pada elektroda positif:



Reaksi primer keseluruhan:



Evolusi oksigen pada elektroda positif:



Kombinasi oksigen pada elektroda negatif:



Evolusi hidrogen pada elektroda negatif:



Reaksi *charge* terjadi pada *positive active material* (PAM) dan di *negative active material* (NAM). Reaksi pada persamaan (2.5) dan (2.6) merupakan kebalikan pada persamaan (2.2) dan (2.3). Dimulai dari penguraian timbal sulfat menjadi ion-ion timbal dan sulfat. Pada PAM, ion bereaksi dengan molekul air untuk membentuk timbal oksida dan asam sulfat. Saat proses ini terjadi, terbentuk dua elektron

yang berpindah menuju NAM melalui eksternal sirkuit. NAM kemudian berubah kembali menjadi timbal berpori dan asam sulfat dengan reaksi pemecahan dan endapan. Rekombinasi oksigen berada pada plat negatif seperti pada persamaan (2.9) yang memungkinkan baterai menjadi “*maintenance free*”. Reaksi sekunder pada persamaan (2.8) dan (2.10) terjadi ketika arus *charge* tidak mencukupi dan berakibat kurangnya air atau ion H^+ di dalam material aktif.

2.1.2 Kerusakan pada Plat Negatif

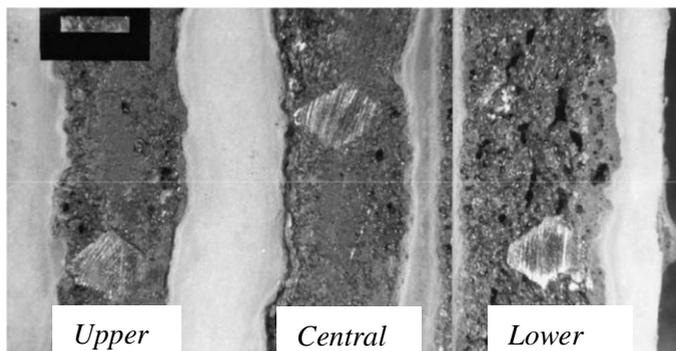
Kerusakan yang sering dialami pada plat negatif baterai *Lead-acid* adalah *sulfation* dan pengikisan pada elektroda.

a) *Sulfation*

Salah satu kegagalan pada baterai adalah proses pembentukan asam sulfat yang *irreversible* pada plat negatif dengan diikuti kehilangan kapasitas. Penyebab pertama adalah elektroda negatif yang secara efektif mengalami depolarisasi akibat proses rekombinasi oksigen pada baterai *lead-acid*. Ketika elektroda pada kondisi *discharged*, massa aktif (PbO_2 dan Pb) bertransformasi menjadi $PbSO_4$. Saat baterai tidak segera di *charge* kembali setelah mengalami *discharge*, maka kristal sulfat akan bertumbuh sebagai hasil dari proses rekristalisasi. Laju rekristalisasi berbanding lurus dengan kelarutan ion dan temperatur. Sayangnya, kelarutan ion sulfat akan meningkat seiring dengan penurunan konsentrasi asam^[12]. Saat ion sulfur digunakan selama proses *discharge*, penurunan konsentrasi asam berbanding

lurus dengan penurunan kondisi ketika *charge*. Oleh karena itu kondisi yang rendah saat *charge* (konsentrasi asam menurun dan kelarutan sulfat tinggi) akan membahayakan baterai dengan peningkatan pertumbuhan kristal sulfat.

Kedua adalah efek dari stratifikasi asam. Selama proses *charging*, kristal sulfat dengan permukaan massa aktif yang lebih kecil akan semakin meningkat, sedangkan kristal yang lebih besar akan larut. Selama elektrode bereaksi, kristal sulfat akan menggumpal, 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 lengkap jarang terjadi di bagian bawah elektrode, 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*) elektrode, bagian tengah (*central*) elektrode, dan bagian bawah (*lower*) elektrode.



Gambar 2.3 Potongan Melintang pada Plat Negatif yang Menunjukkan Adanya *Sulphation*^[12]

Sulfation dapat mengurangi kapasitas, dan tegangan (*voltage*) selama proses *discharge*, juga akan menggeser nilai tegangan menjadi semakin kecil. Jika *sulfation* terlalu jelas terlihat (seperti pada gambar potongan bagian *lower*), maka area di elektroda tersebut akan menjadi tidak aktif sehingga elektroda tidak dapat digunakan.

b) Pengikisan Elektroda (*Erosion*)

Kedua elektroda akan menerima beban mekanik selama siklus operasi. Beban mekanik tersebut timbul akibat 50% dari material aktif berubah menjadi timbal sulfat selama *discharge*. Timbal sulfat memiliki volume per mol 1,94 kali lebih besar dibanding timbal dioksida dan 2,4 kali lebih besar dibanding timbal (Pb).

Perubahan volume yang besar dapat melepaskan material aktif pada elektroda. Efek ini dapat meningkatkan nilai DoD. Ketika material aktif terlepas dari elektroda oleh pergerakan gas atau udara, maka akan membentuk endapan di dasar baterai. Oleh karena itu kapasitas baterai akan berkurang. Jika volume endapan tidak cukup besar, maka akan timbul bahaya dari korsleting arus pendek antara elektroda. Efek dari pengikisan elektroda ini lebih terlihat tidak jelas pada baterai SLA (*Sealed Lead-Acid*).

2.1.3 Carbon Additive

Bahan *additive* yang digunakan pada industri adalah karbon, barium sulfat dan *lignosulfonate*. Karbon terdiri atas *carbon black*, dan karbon aktif. Tabel 2.1 menunjukkan

beberapa contoh *additive* karbon (karbon dan grafit) yang tersedia dan biasa digunakan pada NAM. Ukuran dan permukaan *carbon additive* yang bervariasi menyebabkan perbedaan pengaruh terhadap kondisi elektrokimia pada NAM di baterai *Lead-acid*.

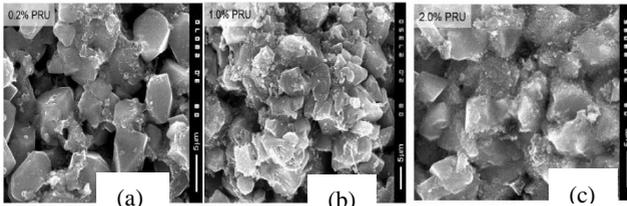
Tabel 2.1 Beberapa Contoh *Carbon Additive* yang Tersedia^[10]

Product	Manufacturer	Type of Material	Bet Surface ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)	Particle Size	
Graphites					
FG1	Formula BT 2939APH	Superior Graphite	Purified natural flake graphite	9	10 μm (d50)
EG1	Formula BT ABG1010	Superior Graphite	Expanded graphite	24.0	10 μm (d50)
EG2	Formula BT ABG1025	Superior Graphite	Expanded graphite	18.0	28 μm (d50)
Carbons					
AC4	PRINTEX® XE2	Degussa	Carbon black	910	30 nm
AC3	Black Pearls 2000	Cabot Corporation	Carbon black	1475	12 nm
AC2	VULCAN XC72R	Cabot Corporation	Carbon black	257	30 nm
CB2	PUREBLACK – 205	Columbian Chemicals	Carbon black	50	42 nm
CB3	Denka black	Denki Kagaku	Carbon black	68	35 nm
PRU	Printex® U	Evonik Industrie	Carbon black	100	25 nm
PR90	Printex® 90	Evonik Industrie	Carbon black	300	14 nm
AC1	NORIT AZO	NORIT	Activated carbon	635	100 μm
TDA	SO-15A	TDA Research Inc.	Activated carbon	1615	< 44 μm
MWV	Purified WV-E105	Mead Westvaco Corp.	Activated carbon	2415	8.7 μm

Nakamura *et al.*^[11] memperkenalkan bahwa *carbon black* yang ditambahkan pada NAM dapat menghambat terjadinya *sulfation* di plat negatif baterai dengan kondisi *high-rate partial-state-of-charge* (HRPSoC). Pengujian dilakukan di baterai kendaraan *hybrid* (*hybrid electric vehicle*). Pengujian dengan metode HRPSoC ini dapat menunjukkan efek penambahan karbon terhadap performa pada plat negatif baterai *lead-acid*. Beberapa peneliti pun telah menyetujui hasil pengujian tersebut. Hipotesa yang dimiliki Moseley *et al.*^[12] terkait perilaku karbon terhadap

performa baterai pada kondisi HRPSoC adalah sebagai berikut: (a) karbon dapat menambah konduktivitas pada NAM; (b) karbon menyebabkan terbentuknya partikel PbSO_4 yang mudah larut dan menghambat pertumbuhan kristal PbSO_4 ; (c) beberapa karbon membentuk endapan yang dapat menghambat reaksi evolusi hidrogen pada plat negatif dan meningkatkan efisiensi ketika proses *charge*; (d) karbon dapat menjadi pompa *electro-osmotic* yang membantu difusi asam pada NAM saat *charge* dan *discharge*; dan (e) *carbon black* memiliki kapasitas yang tinggi terhadap NAM karena luas permukaan yang dimilikinya.

Untuk membuktikan pengaruh karbon terhadap plat negatif baterai *Lead-acid* maka dilakukan pengujian SEM seperti pada gambar 2.4. Perlakuan yang diberikan adalah dengan pemberian perbedaan konsentrasi partikel *carbon black* (PRU) pada NAM yaitu 0,2 wt% PRU, 1wt% PRU, dan 2 wt% PRU. *Carbon black* dalam kondisi *discharge* 100% DoD



Gambar 2.4 Struktur Mikro NAM dengan perbedaan konsentrasi PRU (a) 0,2 wt% PRU, (b) 1 wt% PRU, (c) 2,0 wt% PRU^[10]

Gambar SEM tersebut menunjukkan kondisi *discharge* pada NAM. Peningkatan konsentrasi *carbon black* PRU berpengaruh terhadap pertumbuhan kristal PbSO_4 . Ketika konsentrasi PRU 0,2 wt% terlihat kristal PbSO_4

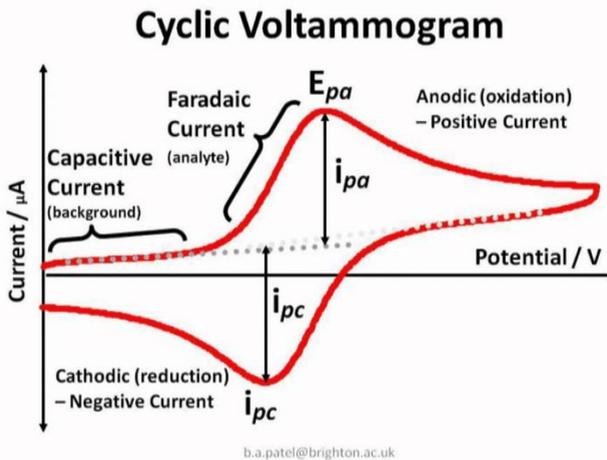
memiliki bentuk dan tepian yang baik namun tidak mengandung karbon. Sedangkan saat pemberian konsentrasi yang lebih tinggi (2,0 wt%) terlihat kristal PbSO_4 yang berbentuk bulat dan mengandung partikel karbon. Gambar 2.4 (c) menggambarkan terbentuknya kerusakan pada kristal PbSO_4 yang mana dapat meningkatkan kelarutan PbSO_4 dan efisiensi saat charging dengan arus yang tinggi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kandungan *carbon additive* akan berpengaruh terhadap proses elektrokimia di plat negatif baterai *lead-acid*. Jika partikel karbon memiliki gaya tarik menarik yang besar dengan timbal atau kontak antara karbon dengan timbal besar maka akan menimbulkan gaya yang lebih stabil dan memiliki hambatan ohm (*ohmic resistance*) yang kecil (dengan kondisi karbon memiliki elektrokonduktivitas yang tinggi). Selain itu, ukuran partikel karbon memberikan pengaruh pada proses elektrokimia di NAM. Ketika partikel karbon berukuran nano, partikel tersebut akan lebih kecil dibandingkan percabangan kerangka timbal. Partikel tersebut akan bergabung ketika di fase timbal. Hal ini terjadi ketika konsentrasi karbon di NAM lebih besar dari 0,5 wt%. Saat partikel karbon di NAM berukuran mikro maka akan menghasilkan 4000-5000 siklus HRPSoC. Tapi, ketika kandungan karbon di NAM kurang dari 0,5 wt%, partikel karbon akan mendorong permukaan NAM saat pembentukan kerangka atau saat siklus, sehingga akan meningkatkan permukaan NAM yang aktif dengan proses elektrokimia, dan siklus yang diperoleh mencapai 10.000 siklus dengan kondisi HRPSoC.

Saat kondisi *charge*, partikel karbon berperan sebagai *super-capacitors*. Beban listrik berpusat pada partikel karbon yang akan terdistribusi sepanjang percabangan kerangka timbal dengan hambatan ohm yang terkecil. Hal tersebut mengakibatkan kerangka timbal lebih banyak memiliki kandungan listrik dinamis, yang mana akan lebih mudah untuk di-*charge-discharge* sehingga akan meningkatkan kualitas dari plat negatif.

2.1.3 Cyclic Voltammetry

Cyclic Voltammetry merupakan sebuah teknik elektroanalisis yang menggunakan arus sebagai fungsi potensial. Hasil dari *cyclic voltammetry* adalah sebuah grafik yang menunjukkan hubungan antara arus dengan potensial dari siklus yang dinamakan *voltamogram* seperti pada gambar 2.5 Voltase yang diberikan bervariasi secara linear (ramp voltage) pada sebuah elektroda. Voltase yang diberikan umumnya berkisar ± 2 volt dari potensial elektroda ketika tidak diberi arus, sehingga reaksi pada elektroda dapat diteliti dengan baik.



Gambar 2.5 *Cyclic Voltammogram* ^[16]

Alat pengujian *voltammetry* terdiri atas 3 elektroda yaitu *working electrode*, *reference electrode*, dan *auxillary electrode*, yang ketiganya memiliki fungsi masing-masing yang disambungkan ke *potensiostat*. Selain itu alat pengujian *voltammetry* terdiri atas N_2 *purge line*, *stir bar*, dan *solid disk electrode*. Prinsip kerja *voltammetry* adalah sebagai berikut. *Working electrode* dihubungkan dengan *potensiostat* sehingga permukaan elektroda memiliki muatan listrik yang besarnya tergantung dengan potensial (voltase) yang diberikan. Jika potensial bernilai negatif maka permukaan elektroda akan bermuatan negatif. Sebaliknya, jika potensial yang diberikan bernilai positif maka elektroda akan bermuatan positif. Pada pengujian *voltammetry* arus difusi

yang diukur tergantung pada konsentrasi ion-ion analit yang terdapat di dalam larutan.

2.2 Penelitian Terdahulu

2.2.1 Masalah yang Dibahas

Penelitian mengenai penambahan *carbon additives* pada plat negatif baterai *Lead-acid* pernah dilakukan oleh Xianping Zou, Zongxuan Kang, Dong Shu, Yuqing Liao di *School of Chemistry and Environment, South China Normal University, Guangzhou-China* pada 7 November 2014. Penelitian tersebut berjudul “*Effect of Carbon Additives on The Performance of Negative Electrode of Lead-Carbon Battery*”^[14]. Penelitian yang dilakukan oleh Xianping Zou *et al* bertujuan untuk mengetahui pengaruh *carbon additives* pada plat negatif baterai *lead-acid* dan komposisi optimal *carbon additives* sehingga dapat meningkatkan performa baterai *lead-acid*.

2.2.2 Metode yang Digunakan

Carbon additives yang ditambahkan di plat negatif baterai *lead-acid* terdiri dari *activated carbon* (AC) dan *carbon black* (CB). Perbedaan karakteristik dua *carbon additives* yaitu *activated carbon* (AC) dan *carbon black* (CB) terlihat pada gambar 2.6.

Characteristics of the carbon additives added into NAM.

Symbol	Type of material	Conductivity (S cm)	BET surface m ² /g	Particle size
AC	Activated carbon	0.35	1800–2000	5–10 μm
CB	Carbon black	70	254	30 nm

Gambar 2. 6 Perbedaan Karakteristik *Activated Carbon* (AC) dan *Carbon Black* (CB) ^[14]

Penambahan *carbon additives* berbeda untuk tiap plat uji, sehingga nantinya dapat diketahui komposisi optimum *carbon additives*. Variasi komposisi AC yaitu 0% hingga 1,0wt%, sedangkan variasi komposisi AB yaitu 0,2wt%, 0,5wt%, dan 1,0wt%. Plat akan diuji dengan beberapa alat, yaitu *chronopotentiometry*, *galvanostatic charge-discharge*. Untuk menguji struktur kristal dan morfologi plat, dilakukan pengujian dengan *X-ray diffraction and scanning electron microscopy* (SEM).

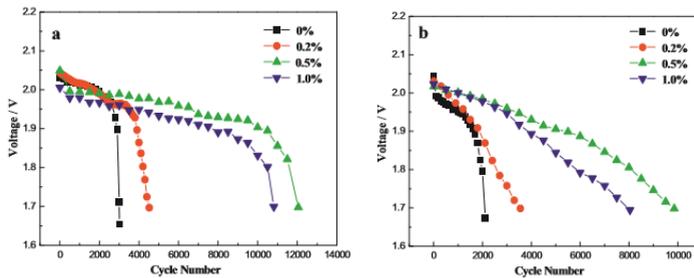
Plat elektroda negatif yang digunakan berasal dari baterai *lead-acid*. Tahap pembuatan plat negatif untuk pengujian adalah sebagai berikut; pertama PbO (*lead oxide*) dan *carbon additive* dihancurkan menjadi satu dengan menggunakan *agate mortar* selama beberapa menit. Kedua, *negative additive* ditambahkan dan dihancurkan dengan *agate mortar*. Ketiga, serat-serat pendek (*short fibers*) terpecah secara merata oleh *deionized water* yang ditambahkan ke dalam *mortar* dan diaduk selama beberapa menit. Keempat, larutan H₂SO₄ dicampurkan dan diberi tambahan *deionized water* untuk menjaga konsistensi *lead paste*. Kelima, *lead paste* dilapisi dengan Pb-Ca *grid* yang berluasan 1 x 1 cm² dan kemudian menjadi elektroda negatif pengujian. Terakhir, elektroda tersebut di *cured* dengan temperatur 35°C selama 2 jam, dilanjutkan 65°C selama 4 jam dalam kelembaban yang sesuai. Pengujian ini menggunakan H₂SO₄ sebagai elektrolit dengan massa jenis 1,28 gr/cm³. Elektroda yang digunakan sebagai referensi adalah Hg/Hg₂SO₄.

Pada tahap pengujian, plat negatif uji dipasangkan dengan plat positif *oversized*. Ketebalan separator 3mm, dan massa plat negatif tersebut adalah 1 gram. Elektrolit yang digunakan sebanyak 200 ml. *Lead-acid battery* diuji dengan kondisi HRPSoC pada temperatur ruang. Proses siklus *charge-discharge* dengan urutan; *charge* dilakukan pada 1C dan 2C dijalankan selama 30 detik. Setelah itu *rest* selama 10 detik. Kemudian, *discharge* pada 1C dan 2C dijalankan selama 30 detik. Selanjutnya *rest* selama 10 detik, dan siklus diulang kembali ke tahap *charge*. Data voltase diperoleh saat akhir dari proses *charge* dan *discharge*. Tes berhenti pada saat voltase *cut-off discharge* turun hingga 1,7 V.

2.2.3 Hasil Penelitian

Data yang diperoleh adalah grafik *discharge* dengan variasi komposisi karbon di NAM (*Negative Active Material*) dalam kondisi HRPSoC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan *cycle life* di plat negatif akibat diberi AC, yang terlihat di gambar 2.7. Gambar tersebut merupakan pengujian ketika laju *discharge* 1C. Jumlah *cycle life* dari yang terendah hingga tertinggi adalah sebagai berikut: jumlah *cycle life* baterai tanpa diberi *carbon additive* 3010, AC 0,2% *cycle life* berjumlah 4520, AC 1,0% *cycle life* berjumlah 10817, dan AC 0,5% *cycle life* berjumlah 12057. Dapat dilihat bahwa *cycle life* paling banyak diperoleh dengan penambahan AC di plat negatif sebanyak 0,5wt%. Hasil yang sama diperoleh pada laju *discharge* 2C, dimana penambahan AC di plat negatif baterai *lead-acid* sebanyak

0,5wt% dapat meningkatkan *cycle life* terbesar.

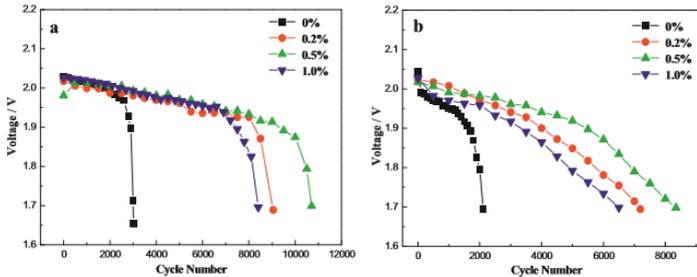


Gambar 2.7 Grafik *Discharge* dengan Penambahan AC pada Perbedaan Laju *Discharge* (a: 1C, b: 2C) Kondisi HRPSoC ^[14]

Hasil yang diperoleh dengan penambahan CB (*carbon black*) terlihat di gambar 2.8, dimana terjadi penambahan *cycle life* baterai *lead-acid* akibat diberi *carbon additive* berupa CB. Jumlah *cycle life* dari yang terendah hingga tertinggi adalah sebagai berikut: jumlah *cycle life* baterai tanpa diberi *carbon black* 3010, CB 0,2% *cycle life* berjumlah 9050, CB 1,0% *cycle life* berjumlah 8400, dan CB 0,5% *cycle life* berjumlah 10701. Dapat dilihat bahwa *cycle life* paling banyak diperoleh dengan penambahan CB di plat negatif sebanyak 0,5wt%. Hasil yang sama diperoleh pada laju *discharge* 2C, dimana penambahan CB di plat negatif baterai *lead-acid* sebanyak 0,5wt% dapat meningkatkan *cycle life* terbesar.

Jika dibandingkan, penambahan AC di plat negatif lebih banyak meningkatkan *cycle life* baterai *lead-acid* daripada penambahan CB. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya perbedaan *specific surface area* (SSA) antara AC dengan CB pada gambar 2.6, dimana SSA AC lebih besar

daripada SSA CB. Semakin besar SSA maka *performance of capacitance* akan semakin baik, sehingga dapat meningkatkan kapasitas baterai dan *cycle life* baterai.

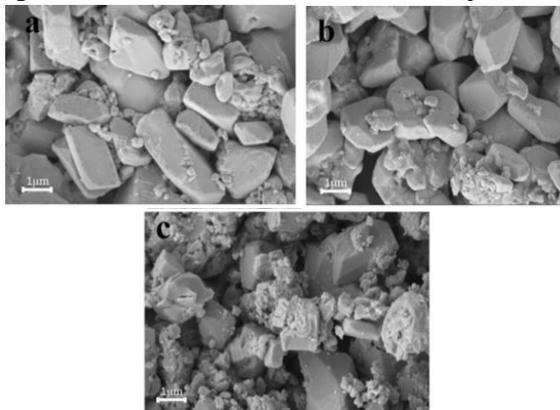


Gambar 2.8 Grafik *Discharge* dengan Penambahan CB pada Perbedaan Laju *Discharge* (a: 1C, b: 2C) Kondisi HRPSoC^[14]

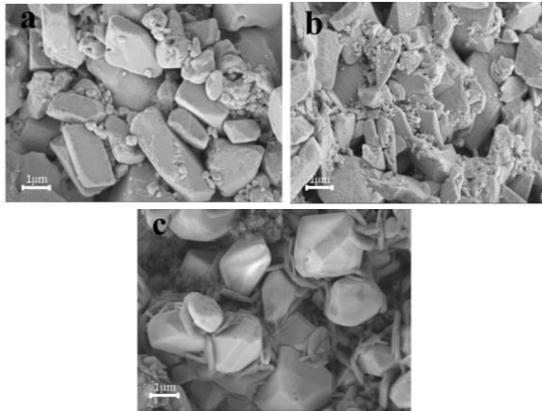
Hasil pengujian SEM di elektroda negatif dengan perbedaan komposisi AC dan BC setelah 2000 siklus terlihat pada gambar 2.9 dan gambar 2.10. Di gambar 2.9a merupakan hasil SEM plat negatif tanpa diberi tambahan *activated carbon*. Terlihat didominasi oleh partikel PbSO_4 yang terdiri dari partikel kecil PbSO_4 dan partikel besar PbSO_4 . Partikel kecil terlihat berada di antara partikel besar PbSO_4 . Ketika AC ditambahkan, yaitu pada gambar 2.9b dan 2.9c, partikel PbSO_4 berukuran semakin kecil dibandingkan saat tanpa diberi tambahan AC, dan meningkatnya pori-pori diantara partikel PbSO_4 . Komposisi AC yang optimal adalah 0,5wt% dan hasil SEM-nya terlihat di gambar 2.9c. Dapat diamati bahwa kristal PbSO_4 terdistribusi dengan homogen dan merata. Ukuran partikel PbSO_4 juga semakin kecil,

sehingga akan lebih mudah untuk digunakan dalam proses elektrokimia pembentukan kembali partikel Pb.

Kondisi mikrostruktur plat negatif yang diberi tambahan CB juga mengalami hal yang sama. Ketika plat negatif tidak diberikan tambahan karbon (*carbon additive*) maka partikel PbSO_4 akan mendominasi. Namun, terjadi perubahan mikrostruktur plat ketika diberi tambahan karbon. Pada gambar 2.10b, plat negatif diberi tambahan karbon sebanyak 0,2%. Terlihat bahwa ukuran partikel PbSO_4 semakin mengecil dan pori-pori diantara partikel PbSO_4 bertambah. Penambahan CB sebanyak 0,5wt% menghasilkan *cycle life* yang terbanyak, dan hasil SEM-nya terlihat di gambar 2.10c. Darisitu terlihat partikel PbSO_4 terdistribusi secara merata dan berbentuk kristal, sehingga mudah larut dan mempermudah transformasi PbSO_4 menjadi Pb.



Gambar 2.9 Hasil SEM Elektroda Negatif dengan Perbedaan Penambahan AC (a: 0%, b: 0,2%, c: 0,5%) Setelah 2000 Siklus ^[14]

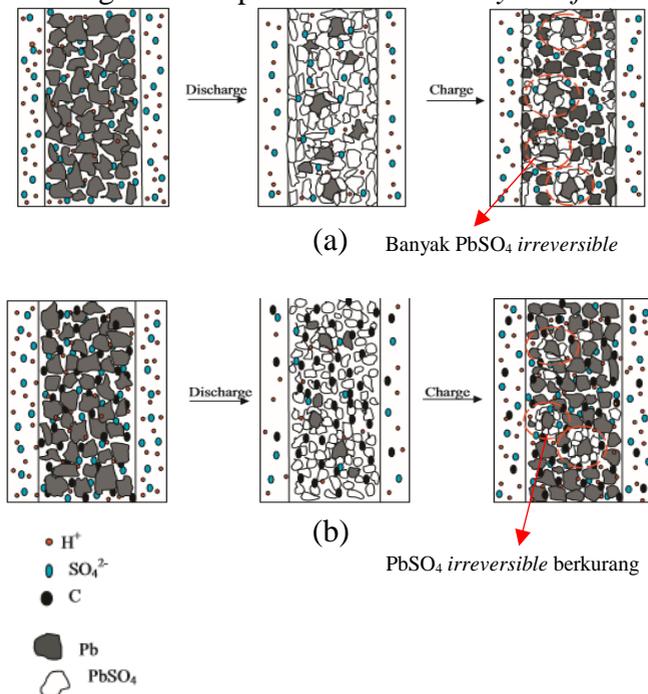


Gambar 2.10 Hasil SEM Elektroda Negatif dengan Perbedaan Penambahan CB (a: 0%, b: 0,2%, c: 0,5%) Setelah 2000 Siklus ^[14]

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan AC maupun CB dapat mengurangi pembentukan partikel PbSO_4 dan meningkatkan penggunaan massa aktif di plat negatif baterai *lead-acid*. Ilustrasi pengaruh penambahan *carbon additive* (AC dan CB) terlihat di gambar 2.11. Setelah mengalami *discharge*, kondisi plat negatif tanpa diberikan *carbon additive* didominasi oleh partikel PbSO_4 yang tersusun rapat dan berada di permukaan plat. Kondisi tersebut dapat menghalangi elektrolit masuk ke dalam plat negatif saat *charging*, sehingga PbSO_4 yang terbentuk tadi sulit untuk diubah menjadi Pb (PbSO_4 *irreversible*, yang ditunjukkan dengan lingkaran merah). Akibatnya, kerja baterai kurang optimal.

Berbeda ketika plat negatif baterai *lead-acid* diberi *carbon additive*. Karbon dapat membantu pembentukan PbSO_4 yang berukuran kecil dan seragam dengan kelarutan

yang lebih tinggi. Selain itu, karbon juga akan memberikan jalan kepada elektrolit untuk masuk ke dalam plat negatif sehingga ketika *charging*, PbSO_4 akan larut dan siap untuk bertransformasi menjadi Pb . Dari lingkaran merah di gambar 2.11a dengan 2.11b terlihat bahwa berkurangnya PbSO_4 *irreversible* akibat diberi *carbon additive*. Sehingga peristiwa *sulfation* akan terindari. Selain itu, dampak positif yang diperoleh akibat *carbon additive* pada plat negatif adalah dapat meningkatkan kapasitas baterai dan *cycle life* baterai.



Gambar 2. 11 Ilustrasi Kondisi Plat Negatif (a: Tanpa *Carbon Additive*, b: dengan *Carbon Additive*) Dalam Kondisi HRPSoC ^[14]

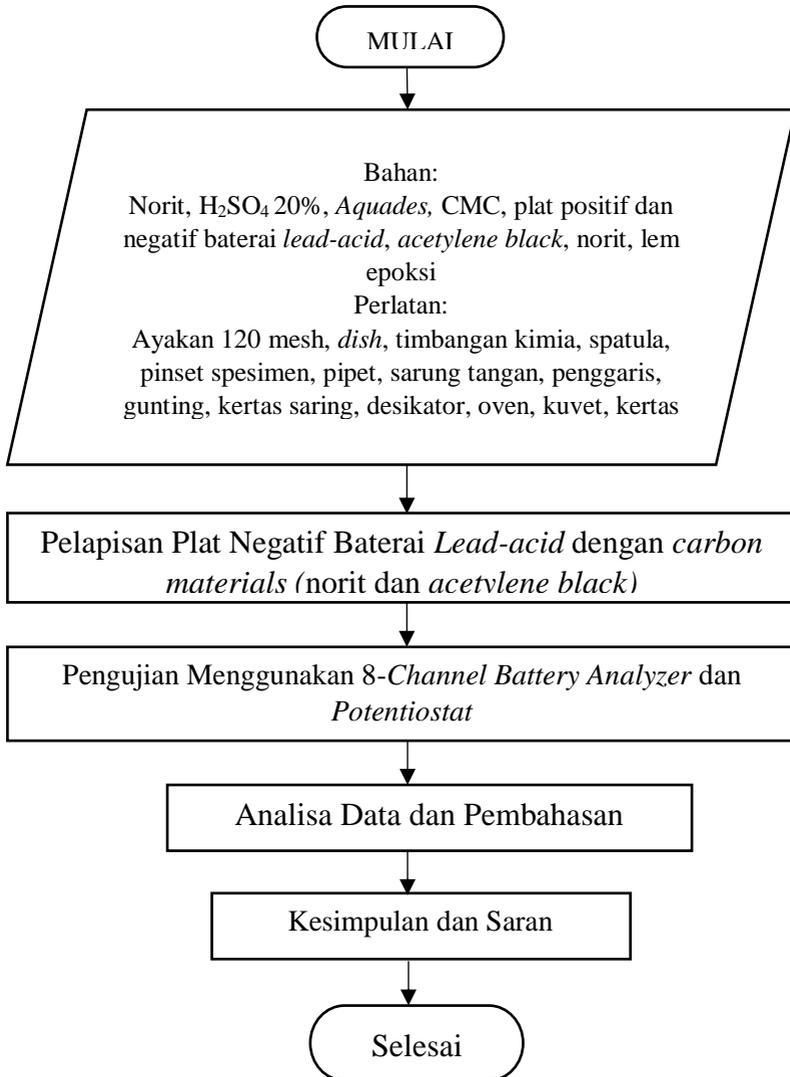
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

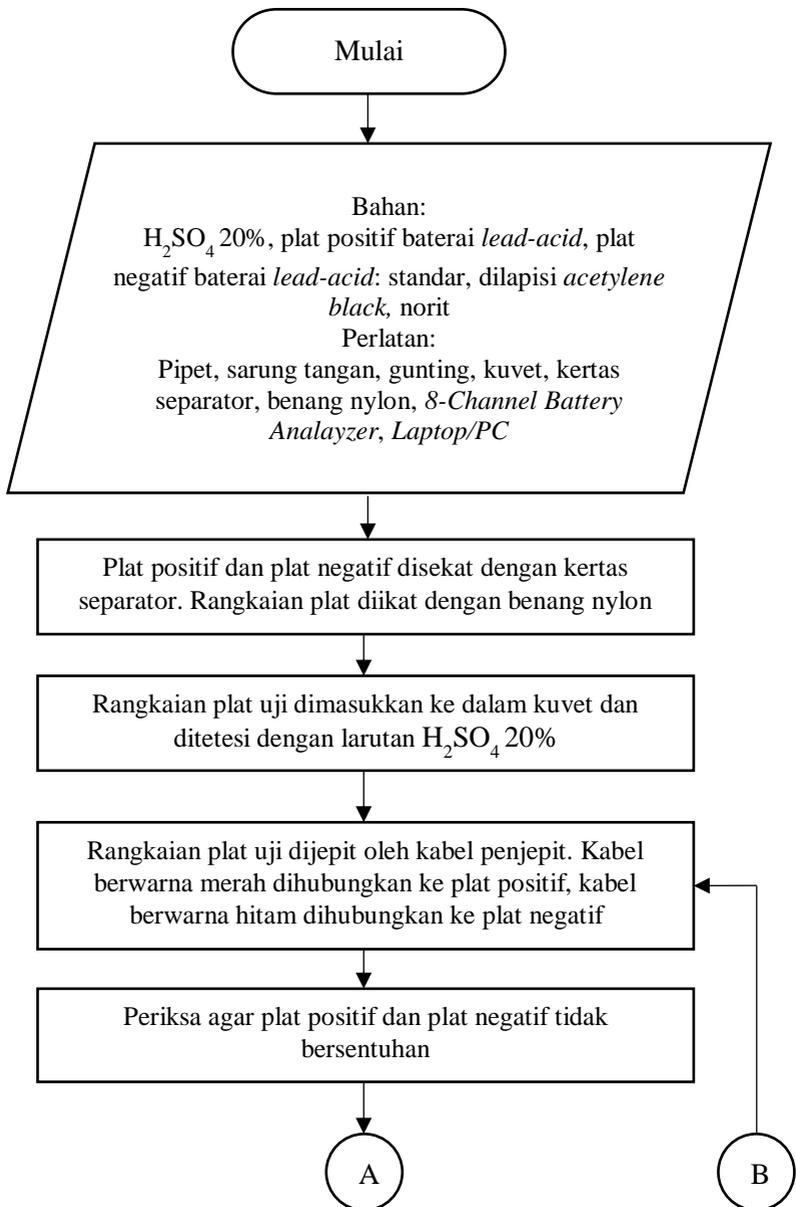
METODOLOGI PENELITIAN

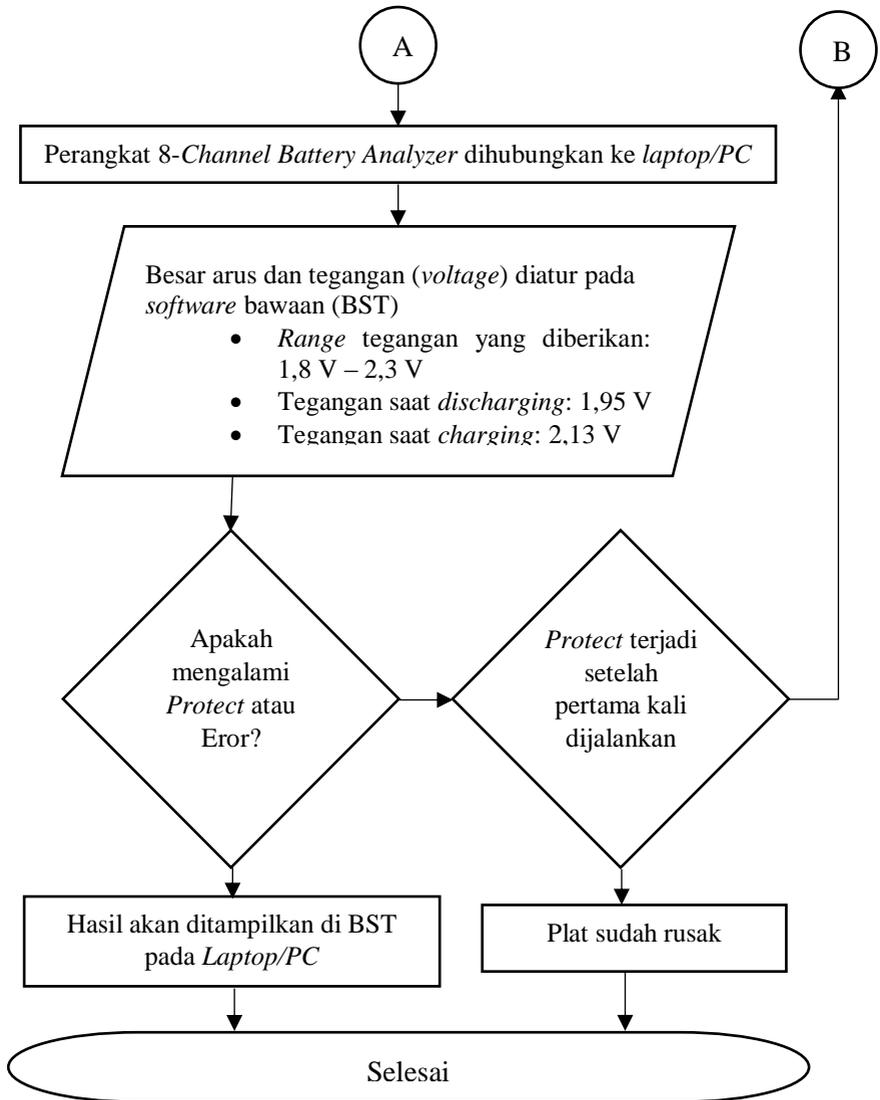
3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam bab ini akan dijelaskan langkah-langkah yang dijadikan acuan dalam penelitian ini. Diawali dengan studi lapangan terkait permasalahan yang akan diteliti. Dilanjutkan studi literatur terkait penelitian, kemudian melakukan percobaan. Setelah melakukan percobaan, data dianalisa dan mendiskusikannya, kemudian dapat ditarik kesimpulan serta saran dari hasil penelitian ini seperti diagram alir pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.2 Diagram Alir Pengujian Dengan 8-Channel Battery Analyzer

3.2 Studi Literatur

Studi Literatur digunakan sebagai ulasan terhadap buku dan jurnal yang memberikan informasi terkait pengaruh *carbon additive* terhadap *charging cycle life* dari baterai *Lead-acid*. 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 negatif standar untuk baterai *Lead-acid* yang didapatkan dari PT. Indobatt. Semua plat sudah diaktifkan dengan proses *charging* dan dikeringkan menggunakan *oven* saat proses *vacuum drying*. Pembuatan *activated carbon* dan pengambilan data penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Elektrokimia ITS. *Carbon black* dari *acetylene* diperoleh dari salah satu *supplier*.

3.3.1 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

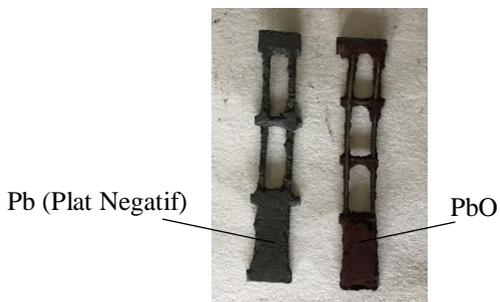
1. Ayakan berukuran 120 mesh
2. *Dish*
3. Timbangan kimia
4. Spatula
5. Pinset spesimen
6. Pipet

7. Sarung tangan
8. Penggaris
9. Gunting
10. Kertas saring
11. Desikator
12. Oven
13. Kuvet
14. Kertas separator
15. Benang nylon
16. *8-Channel Battery Analyzer*

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

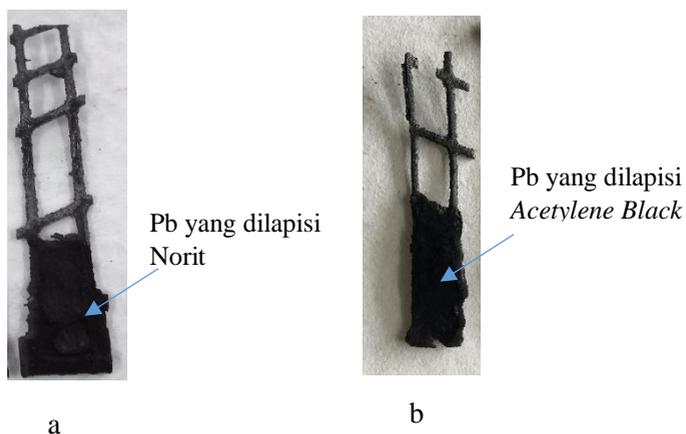
1. Norit
2. Larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) 20%
3. *Aquades*
4. CMC
5. Plat positif dan negatif baterai *Lead-acid*
6. *Acetylene black*
7. Lem *Epoxy*

Spesimen uji yang digunakan dalam pengujian kali ini adalah plat positif dan negatif standar dari PT. Indobatt dengan jenis aki NS 60. Plat positif dan plat negatif standar tersebut dipotong hingga berukuran satu grid (1,5 cm x 0,5 cm) terlihat di gambar 3.3.



Gambar 3.3 Plat Positif dan Plat Negatif Standar

Selanjutnya spesimen uji yang kami gunakan adalah plat negatif (berukuran 1,5 cm x 0,5 cm) yang permukaannya dilapisi dengan *carbon materials*, terlihat di gambar 3.4



Gambar 3.4 Plat Negatif yang Dilapisi *Carbon Materials*; a. Norit, b. *Acetylene Black*

3.3.2 Pelapisan Plat Negatif Baterai *Lead-acid*

Berikut adalah tahapan pelapisan plat negatif baterai *Lead-acid*:

1. Plat negatif dan plat positif dipotong berukuran satu grid (1,5 cm x 0,5 cm).
2. Plat negatif dan plat positif ditimbang.
3. Karbon aktif dan *acetylene black* diberi tambahan CMC. Perbandingan jumlah CMC dengan karbon aktif adalah 1:5.
4. Campuran karbon aktif dan *acetylene black* dengan CMC ditambahkan *aquades* hingga mencapai kekentalan tertentu.
5. Campuran tersebut dioleskan pada salah satu sisi plat negatif secara merata menggunakan cetakan.
6. Plat negatif dikeringkan di desikator selama semalam.
7. Menimbang plat negatif yang telah dioleskan karbon aktif dan *acetylene black* .
8. Sisi plat negatif yang lain dioleskan lem *epoxy*, kemudian dikeringkan dalam desikator.
9. Dua jenis plat negatif (plat yang dilapisi karbon aktif dan plat yang dilapisi *acetylene black*) siap untuk diuji.

3.3.3 Pengujian Menggunakan 8 Channels Battery Analyzer

Semua *mini plat* baterai (plat positif dan plat negatif yang berukuran 1,5 cm x 0,5 cm) akan diuji *charging* dan *discharging* dengan menggunakan alat *8-channel battery analyzer* yang dimiliki Laboratorium Elektrokimia ITS. *Battery analyzer* seperti pada gambar 3.5 dapat menguji 8 *sample mini plat* sekaligus dimana *mode charging* dan *discharging* bisa diatur pada tegangan atau arus yang konstan, dan terhubung langsung dengan *laptop/PC*.

Spesifikasi:

Nama Alat : 8 Channels Battery Analyzer

Model : BST8-MA (10Ma)

Power : 30W

No Seri : T1301-048476

Asal Negara : Jepang

Perolehan : 23-01-2013



Gambar 3.5 8-Channel Battery Analyzer

Berikut adalah tahapan pengujian menggunakan *8-Channel Battery Analyzer*:

1. Plat negatif yang telah diberi lapisan karbon aktif, *acetylene black*, dan tidak dilapisi apapun (plat negatif standar) disiapkan.
2. Kertas separator diletakkan diantara pasangan plat positif dan plat negatif.
3. Plat positif dan plat negatif yang disekat dengan kertas separator diikat dengan benang nylon.
4. Setelah diikat, plat dimasukkan ke dalam kuvet dan diberi larutan H_2SO_4 20%.
5. Plat positif dan plat negatif dijepit oleh kabel penjepit. Kabel berwarna merah dihubungkan ke plat positif, sedangkan kabel berwarna hitam dihubungkan ke plat negatif.
6. Perangkat *8-Channel Battery Analyzer* dihubungkan ke *laptop/PC*. Besar arus dan tegangan (*voltage*) diatur pada *software* bawaan (BST) 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 BST yang telah di-*instal*.

3.3.4 Pengujian Menggunakan *Potentiostat*

Semua *mini plat* baterai (plat positif dan plat negatif yang berukuran 1,5 cm x 0,5 cm) akan diuji *cyclic voltammetry* dengan menggunakan *Potentiostat* yang dimiliki Laboratorium Korosi Teknik Mesin ITS seperti pada gambar 3.6. Sebelum diuji, *potentiostat* harus dikalibrasi terlebih dahulu agar mendapatkan data yang *valid*. Hasil pengujian ditampilkan pada NOVA (*software* bawaan) yang terhubung langsung dengan *laptop/PC*.

Spesifikasi:

Nama Alat : *Autolab*
Model : PGSTAT302N
Elektroda Referensi : Ag/AgCl
Control *Software* : NOVA 1.6



Gambar 3.6 Autolab

3.4 Metode Pengambilan Data

Plat positif dan plat negatif baterai *Lead-acid* akan diuji saat *charging* serta *discharging* dengan menggunakan alat *8-Channel Battery Analyzer* yang dimiliki Laboratorium Elektrokimia ITS dan *cyclic voltammetry* yang dimiliki Laboratorium Korosi Teknik Mesin ITS. *8-Channel Battery Analyzer* dan *cyclic voltammetry* bisa bekerja secara otomatis dan semua data akan direkam dalam komputer yang dihubungkan dengan peralatan tersebut.

3.5 Analisa Data dan Pembahasan

Tahap ini dilakukan penulis untuk menganalisa semua 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.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 *Carbon Materials* pada *Negative Active Material* (NAM)

Bab ini akan membahas mengenai posibilitas pengaruh pelapisan *carbon materials* (*Acetylene Black* dan norit) pada plat negatif terhadap *cycle life* baterai *lead acid*. Analisa pengaruh pelapisan *carbon materials* pada plat negatif baterai *lead-acid* mengacu pada penelitian sebelumnya. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya berupa pemberian *carbon additive* pada NAM (*Negative Active Material*) baterai *lead-acid*. Aditif (*additive*) itu sendiri merupakan substansi yang dapat meningkatkan beberapa properti dari produk hasil suatu material. Jumlah *additive* yang ditambahkan pada suatu material sebanyak 0.02 hingga 0.2 % dari total berat material yang diberi *additive*. *Additive* yang biasanya digunakan pada baterai *lead-acid* adalah karbon, barium sulfat, dan *lignosulfonate*. Namun, disini hanya akan dibahas mengenai karbon sebagai bahan *additive*.

Carbon materials digunakan pada percobaan ini karena karbon memiliki dampak positif terhadap *cycle life* ketika ditambahkan di plat negatif. Beberapa studi membuktikan teori tersebut, seperti percobaan yang dilakukan oleh Calabek *et al*^[14] membuktikan bahwa adanya karbon di NAM dapat menghindari pertumbuhan kristal $PbSO_4$, mempertahankan pembentukan kristal kecil dengan kelarutan yang tinggi, sehingga proses *charge* yang lebih efisien. Dua jenis karbon yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon aktif (*Activated Carbon*) dan *carbon black* (*Acetylene Black*)

karena dua jenis karbon ini lebih berpengaruh memberikan keuntungan bagi performa dan efisiensi penggunaan plat negatif baterai *lead-acid*. Hal tersebut dibuktikan oleh Nakamura^[5], dimana penelitiannya membuktikan bahwa penambahan *carbon black* ke NAM dapat meningkatkan *charge acceptance* secara signifikan dan memperlambat *sulfation* di plat negatif dengan kondisi HRPSoC. Teori mengenai keuntungan penggunaan karbon aktif sebagai *additive* di NAM telah dijelaskan oleh Pavlov^[13] bahwa elektrokimia dari karbon aktif di *negative paste* dapat meningkatkan efisiensi *charging* dan menghambat *sulfation* di plat negatif.

Seperti yang telah disebutkan di paragraf sebelumnya, penelitian ini akan membuktikan pengaruh dari pemberian *carbon materials* di plat negatif, dan membandingkan dua *carbon materials* yang digunakan yaitu *activated carbon* dan *acetylene black*. Penelitian yang juga membandingkan dua macam *carbon additives* di NAM telah dijelaskan di sub-bab 2.2 yang dilakukan oleh Xianping Zou *et al*^[14]. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah *activated carbon* memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan *acetylene black*. Hal tersebut dikarenakan *activated carbon* memiliki *specific surface area* (SSA) yang lebih besar dibandingkan dengan *acetylene black*. Semakin besar nilai SSA, maka kapasitansi yang didapatkan akan lebih baik sehingga kapasitas *discharge* juga akan meningkat.

Keuntungan-keuntungan dari karbon sebagai *additive* menjadikan ketertarikan terhadap penelitian kali ini. Jika pada penelitian-penelitian sebelumnya *carbon additive* diberikan di NAM pada saat *pasting*, maka berbeda halnya dengan penelitian ini. Penelitian ini menambahkan karbon sebagai aditif di bagian permukaan plat negatif baterai *lead-*

acid. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data yang mendukung bahwa pelapisan *carbon materials* plat negatif memberikan pengaruh terhadap *cycle life* dan kapasitas baterai *lead-acid*. Alat uji yang digunakan di penelitian ini yaitu *8-Channel Battery Analyzer* dan *Potentiostat*. *Activated carbon* yang digunakan pada penelitian ini adalah Norit. Pembuatan sampel uji untuk kedua alat tersebut sama, dan akan dijelaskan di sub-bab 4.2.

Plat negatif dan positif yang digunakan berasal dari PT. Indobatt berjenis NS 60. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pelapisan *carbon additive* pada plat negatif baterai *lead-acid*, sehingga perlu dilakukan perhitungan kapasitas teoritis sebagai parameter kapasitas yang dicapai baterai.

Plat yang digunakan berukuran; panjang plat = 12,5 cm dan lebar plat = 11 cm. Sehingga luasan plat adalah 137,5 cm². Elektroda yang digunakan sebagai *plat* uji baterai berukuran; panjang sampel = 1,5 cm dan lebar sampel 0,5 cm. Sehingga luasan sampel uji adalah 0,75 cm². Kapasitas plat negatif yang digunakan adalah 2,25 Ah. Maka perhitungan kapasitas teoritis 1 grid sampel adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas teoritis 1 grid sampel} &= \frac{\text{Luas sampel}}{\text{luas plat}} \times \text{kapasitas plat} \\ &= \frac{0,75}{137,5} \times 2250 \text{ mAh} \\ &= 12,27 \text{ mAh} \end{aligned}$$

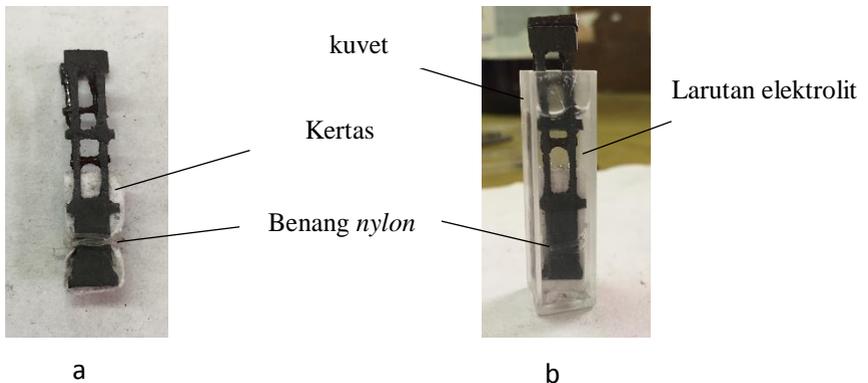
Perhitungan tersebut menunjukkan bahwa kapasitas teoritis untuk 1 grid sampel uji sebesar 12,27 mAh.

4.2 Pembuatan Plat Baterai Uji

4.2.1 Pembuatan Plat Baterai Elektroda Standar

Elektroda yang digunakan menjadi plat baterai uji berasal dari plat positif dan negatif aki jenis NS 60, yang dipotong hingga berukuran satu grid (1,5 cm x 0,5 cm). Salah satu sisi permukaan dari plat positif dan negatif dilapisi dengan lem epoksi. Pelapisan ini bertujuan untuk mengisolasi permukaan sehingga tidak bereaksi. Mengeringkan lem epoksi dilakukan dengan menggunakan desikator yang kedap udara selama semalam.

Setelah lem epoksi mengering, dilakukan penyusunan plat agar siap diuji. Rangkaian plat untuk diuji terdiri atas *plat* baterai positif dan negatif standar, kertas separator dan benang nylon. Permukaan *plat* baterai positif dan negatif yang dilapisi lem epoksi diletakkan berhadapan dan kertas separator disisipkan diantara keduanya. Setelah itu rangkaian *plat* baterai diikat dengan menggunakan benang *nylon* agar tidak terlepas saat berada dalam kuvet. Rangkaian *plat* yang siap diuji terlihat di gambar 4.1



Gambar 4.1 Rangkaian Plat Standar Siap Diuji: a. Sebelum Dimasukkan Dalam Kuvet, b. Berada Dalam Kuvet

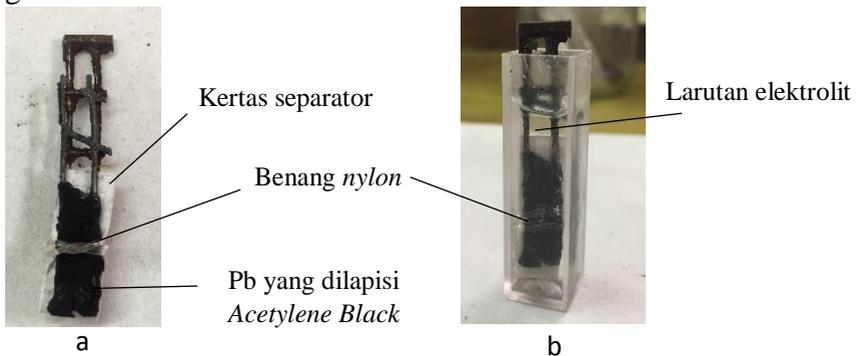
4.2.2 Pembuatan *Plat Baterai Plat Negatif yang Dilapisi Acetylene Black*

Elektroda yang digunakan menjadi *plat* baterai uji berasal dari plat positif dan negatif aki jenis NS 60, yang dipotong hingga berukuran satu grid (1,5 cm x 0,5 cm). Setelah dipotong, kedua plat ditimbang. Tujuan dari penimbangan ini untuk mengetahui selisih massa plat sebelum dan sesudah dilapisi *acetylene black*, darisitu akan terlihat berapa massa *acetylene black* yang diberikan di plat negatif.

Yang perlu disiapkan sebagai pelapis adalah *acetylene black* (dalam bentuk bubuk) dan perekat yang terdiri dari campuran CMC (*Carboxymethyl cellulose*) dengan *aquades*. Campuran CMC dengan *aquades* dicampur dengan bubuk *acetylene black*, dengan perbandingan massa *acetylene black* dan CMC adalah 5 : 1. Setelah campuran berupa seperti pasta, kemudian dilapiskan diatas permukaan plat negatif dengan menggunakan cetakan akrilik. Pelapisan ini dilakukan di

salah satu permukaan plat negatif. Setelah dilapisi, plat tersebut dikeringkan dalam desikator yang kedap udara selama semalam, kemudian ditimbang.

Sisi yang lain di plat negatif tersebut dan salah satu sisi permukaan di plat positif dilapisi dengan lem epoksi. Pelapisan ini bertujuan untuk mengisolasi permukaan sehingga tidak bereaksi. Mengeringkan lem epoksi dilakukan dengan menggunakan desikator selama semalam. Setelah lem epoksi mengering, dilakukan penyusunan plat agar siap diuji. Rangkaian plat untuk diuji terdiri atas plat baterai positif standar, plat baterai negatif yang dilapisi *acetylene black*, kertas separator dan benang nylon. Permukaan plat baterai positif dan negatif yang dilapisi lem epoksi diletakkan berhadapan dan kertas separator disisipkan diantara keduanya. Setelah itu rangkaian plat baterai diikat dengan menggunakan benang nylon agar tidak terlepas saat berada dalam kuvet. Rangkaian plat yang siap diuji terlihat di gambar 4.2



Gambar 4. 2 Rangkaian Plat yang Dilapisi Acetylene Black Siap Diuji: a. Sebelum Dimasukkan Dalam Kuvet, b. Berada Dalam Kuvet

4.2.3 Pembuatan *Plat* Baterai Plat Negatif yang Dilapisi Norit

Elektroda yang digunakan menjadi plat baterai uji berasal dari plat positif dan negatif aki jenis NS 60, yang dipotong hingga berukuran satu grid (1,5 cm x 0,5 cm). Setelah dipotong, kedua plat ditimbang. Tujuan dari penimbangan ini untuk mengetahui selisih massa plat sebelum dan sesudah dilapisi norit, darisitu akan terlihat berapa massa norit yang diberikan di plat negatif.

Yang perlu disiapkan sebagai pelapis adalah norit, dan perekat yang terdiri dari campuran CMC (*Carboxymethyl cellulose*) dengan *aquades*. Norit dihancurkan hingga berbentuk bubuk, kemudian diayak dengan ayakan berukuran 120 mesh. Tujuannya adalah untuk mendapatkan norit berbentuk bubuk yang tidak kasar dan berukuran kecil sehingga memudahkan pelapisan di permukaan plat negatif. Campuran CMC dengan *aquades* dicampur dengan bubuk norit, dengan perbandingan massa norit dan CMC adalah 5 : 1. Setelah campuran berupa seperti pasta, kemudian dilapiskan diatas permukaan plat negatif dengan menggunakan cetakan akrilik. Pelapisan ini dilakukan di salah satu permukaan plat negatif. Setelah dilapisi, plat tersebut dikeringkan dalam desikator yang kedap udara selama semalam, kemudian ditimbang.

Sisi yang lain di plat negatif tersebut dan salah satu sisi permukaan di plat positif dilapisi dengan lem epoksi. Pelapisan ini bertujuan untuk mengisolasi permukaan sehingga tidak bereaksi. Mengeringkan lem epoksi dilakukan dengan menggunakan desikator selama semalam. Setelah lem epoksi mengering, dilakukan penyusunan plat agar siap diuji.

Rangkaian plat untuk diuji terdiri atas plat baterai positif standar, plat baterai negatif yang dilapisi norit, kertas separator dan benang nylon. Permukaan plat baterai positif dan negatif yang dilapisi lem epoksi diletakkan berhadapan dan kertas separator disisipkan diantara keduanya. Setelah itu rangkaian plat baterai diikat dengan menggunakan benang nylon agar tidak terlepas saat berada dalam kuvet.

4.3 Pengujian dengan 8-Channel Battery Analyzer

4.3.1 Pengaturan Alat Uji 8-Channel Battery Analyzer

Peralatan pengujian yang digunakan kali ini adalah 8-Channel Battery Analyzer. Seperti namanya, alat ini memiliki 8-Channel yang artinya pengujian dapat dilakukan dengan 8 rangkaian plat uji secara bersamaan. Pengaturan yang dilakukan digunakan untuk semua plat uji. Pengujian ini menggunakan 8 *steps* (urutan) yang diawali dengan “Rest” dan diakhiri dengan step “End” terlihat di gambar 4.3. *Rest* terletak pada *step* pertama, ketiga, dan keenam dimana kondisi plat uji tidak melakukan *charging* maupun *discharging* selama waktu tertentu, dan kami mengatur *rest* selama 1 menit. Selain itu, kami mengatur batas atas dan bawah tegangan (voltase) yang diijinkan pada pengujian ini. Batas atas voltase (*Hi-Voltage*) yang kami atur adalah 2,3V, sedangkan batas bawah voltase (*Low Voltage*) adalah 1,8V. Sehingga voltase dalam pengujian ini tidak melebihi 2,3V dan tidak kurang dari 1,8V. Jika voltase kurang atau lebih dari *range* yang ditentukan, maka akan terjadi kondisi *error* yang disebut dengan “Protect” yang akan dibahas selanjutnya.

Step Set

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

From Startup Delay Prot: 0 Sec. CapPerVal: mg

Record condition Protect Param Base Information

Time: 5 Sec. Hi Voltage: 2.3 V Creator: Bak Setting

Current: 0 mA Low Voltage: 1.8 V Batch No: NDB Setting

Voltage: 0 mV Current Range 0 mA Memo:

Clear Step Save File Open File OK Cancel

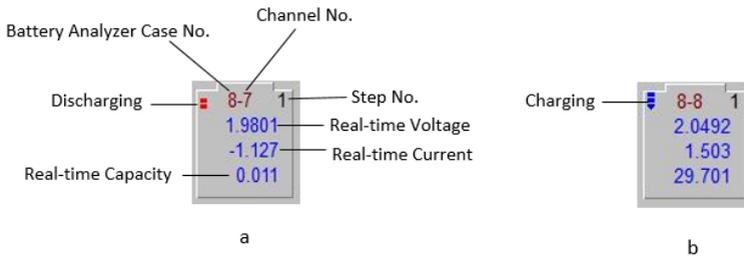
Gambar 4.3 Lembar Pengaturan Pengujian 8-Channel Battery Analyzer

Dalam proses *charging* dan *discharging*, kami menggunakan metode *Multi-stage Constant Voltage/Current Charging* yang diharapkan mampu mendapatkan waktu *charging* maksimum dengan kerusakan *plat* seminimal mungkin. Tahapan yang pertama adalah *constant current discharge* berada di *step* kedua. Di *step* ini, arus *discharge* diatur konstan yaitu 1,125mA, dan berakhir saat voltase baterai turun hingga 1,95V. Tahapan yang kedua, yang berada dalam *step* keempat adalah *constant current charge*. Pada *step* ini, baterai melakukan *charging* dengan arus yang diatur konstan pada 1,5mA. Ketika baterai mencapai voltase 2,13V, maka baterai akan menuju *step* berikutnya hingga *step*

“Cycle” dan dapat dikatakan pengujian telah menjalani satu siklus. Kemudian siklus akan diulang kembali ke *step* pertama (1), dan begitu seterusnya hingga baterai mengalami kerusakan. Jumlah siklus yang diatur dalam pengujian ini sebanyak 9999 siklus. Setelah pengaturan alat uji *8-Channel Battery Analyzer* selesai, dilanjutkan dengan pengujian (*discharging dan charging*) baterai *lead-acid* yang akan dijelaskan di sub-bab berikutnya.

4.3.2 Kondisi *Charging* dan *Discharging* pada *8-Channel Battery Analyzer*

Pengujian ini diawali dengan kondisi “rest”, *discharge* dan kemudian *charging*. Perbedaan proses *discharge* dengan *charging* dalam *software* bawaan alat uji (BTS) terlihat di gambar 4.4. Gambar 4.4a menunjukkan kondisi baterai mengalami *discharge*. Sedangkan gambar 4.4b menunjukkan baterai mengalami *charging*. Tampilan keduanya hampir sama, namun perbedaan terletak di simbol kiri atas yang berwarna merah untuk *discharge*, dan yang berwarna biru untuk kondisi *charging*. *Battery Analyzer Case No.* untuk menunjukkan jumlah *channel* yang dimiliki alat uji ini, sedangkan *Channel No.* digunakan untuk menunjukkan nomor *channel* yang sedang digunakan. *Step No.* untuk menunjukkan jumlah siklus (*cycle*) yang sedang berlangsung. *Real-time Voltage*, *Current*, dan *Capacity* untuk menunjukkan besar voltase, arus dan kapasitas yang terjadi di waktu tertentu, sehingga mudah saat diamati. Tanda minus di *real-time current* menunjukkan baterai sedang mengalami *discharge*.



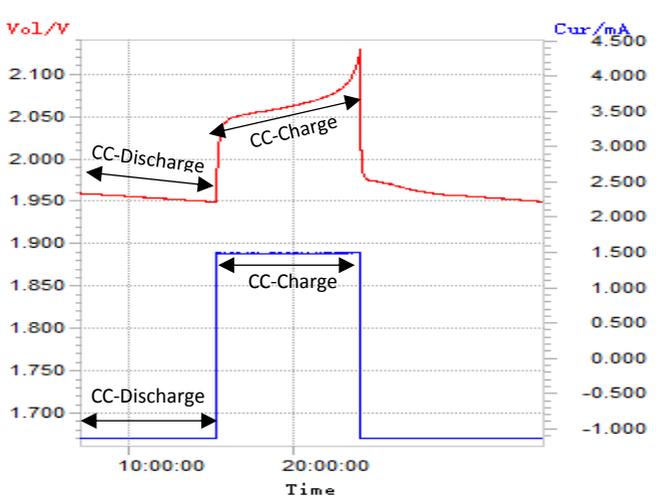
Gambar 4.4 Tampilan *Channel*: a. Kondisi *Discharging*, b. Kondisi *Charging*

4.4 Hasil Pengujian dengan 8-Channel Battery Analyzer

Kapasitas baterai biasanya diperhitungkan pada saat *discharge*^[15]. Kapasitas terlihat ketika baterai mengalami *fully charged* di kondisi *constant current* sampai pada kondisi *end-of-discharge voltage*. Teori tersebut yang menjadi dasar pengolahan data dan grafik yang akan dijelaskan berikutnya.

Pada 8-Channel Battery Analyzer, terdapat grafik yang terekam selama siklus yang berjalan selama pengujian, seperti pada gambar 4.5 . Grafik menunjukkan hubungan antara voltase (V) dan arus (mA) terhadap waktu (jam). Grafik yang berwarna merah menunjukkan grafik voltase terhadap waktu, sedangkan grafik yang berwarna biru menunjukkan grafik arus terhadap waktu. Satu siklus dalam pengujian baterai terdiri dari *CC-Discharge* dan *CC-Charge*. Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab 4.3.1, *CC discharge* akan berjalan hingga voltase mencapai 1,95 volt dan berlanjut ke *CC-Charge*. Pada *CC-Charge*, voltase akan mengalami kenaikan hingga mencapai 2,15 volt. Voltase *discharge* diatur lebih kecil dari voltase *charge* dikarenakan agar baterai

memiliki kapasitas yang disimpan baterai, sehingga baterai tidak kehilangan kapasitasnya ketika mengalami *discharge*.



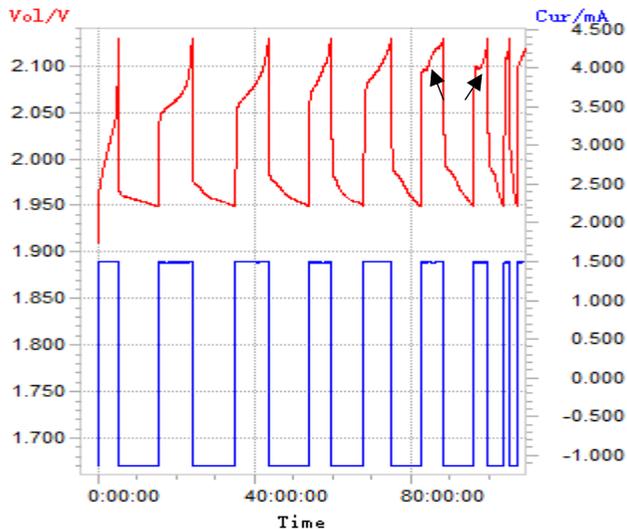
Gambar 4.5 Grafik Voltase dan Arus Terhadap Waktu pada 8-Channel Battery Analyzer Pengaturan Lama

Hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan di percobaan kali ini, akan dijelaskan sebagai berikut.

4.4.1 Pengujian Plat Standar

Pengujian plat standar dilakukan untuk menjadi referensi plat uji yang akan dilapisi *carbon additive* (*acetylene black* dan *norit*). Grafik yang dihasilkan dari 8-Channel Battery Analyzer terlihat di gambar 4.6. Di sub-bab 4.3.1, disebutkan bahwa batasan voltase yang diatur antara 1,8 volt sampai dengan 2,3 volt. Jadi ketika voltase turun hingga kurang dari 1,8 volt, baterai akan mengalami *protect*

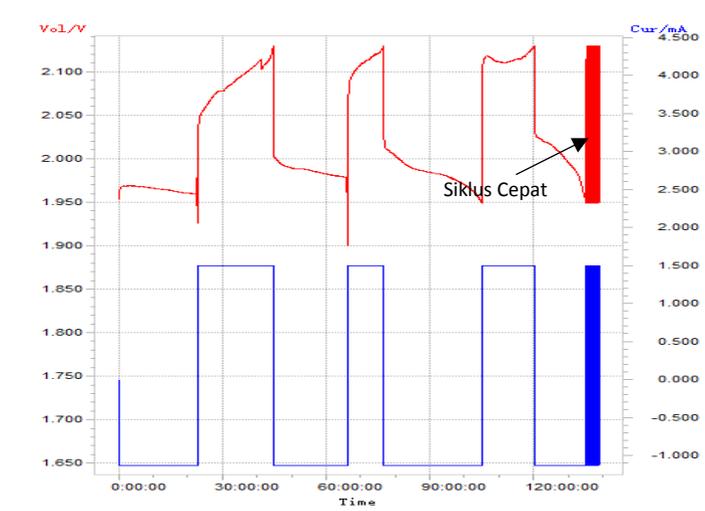
atau dengan kata lain plat tidak dapat melanjutkan siklus. Jumlah *cycle* keseluruhan yang diperoleh dari pengujian plat standar ini adalah 9 *cycle*. Garis yang terlihat bergelombang pada grafik voltase terhadap waktu (yang ditunjukkan dengan tanda panah) terjadi akibat pengaruh dari penjepit yang tidak mampu menghantarkan arus dengan baik. Dari gambar tersebut terlihat bahwa waktu *cycle* semakin lama semakin berkurang. Kapasitas yang diperoleh plat standar akan dijelaskan di sub-bab berikutnya.



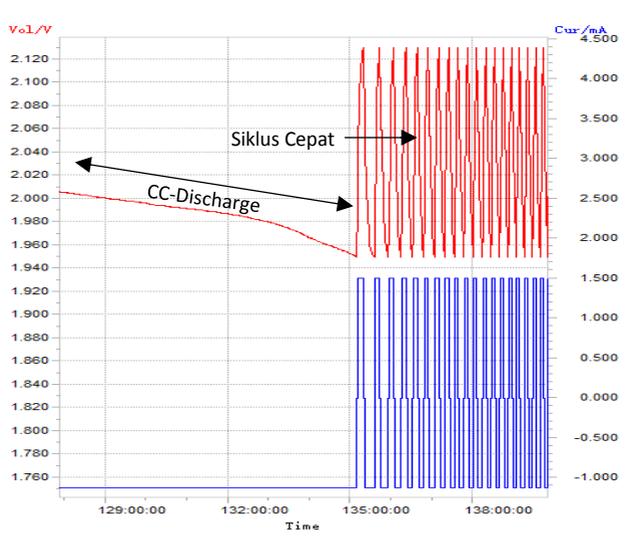
Gambar 4.6 Grafik Voltase dan Arus terhadap Waktu Pada Pengujian Plat Standar

4.4.2 Pengujian Plat Negatif Dilapisi *Acetylene Black*

Grafik hasil pengujian plat negatif yang dilapisi dengan norit terlihat seperti pada gambar 4.7. Jumlah *cycle* keseluruhan yang diperoleh dari pengujian plat yang dilapisi *acetylene black* ini adalah 649 *cycle*. Pada gambar 4.7, terlihat 4 siklus yang berjalan dalam waktu yang lama, dan setelah itu mengalami siklus cepat. Perbesaran grafik untuk siklus cepat seperti pada gambar 4.8. Siklus cepat ini berlangsung hanya beberapa menit. Seiring meningkatnya jumlah *cycle*, voltase dan kapasitas plat di siklus ini semakin lama akan semakin menurun. Hal tersebut dikarenakan *acetylene black* memiliki struktur butiran yang kecil dan terdapat di permukaan NAM sehingga plat akan lebih cepat bereaksi dan *cycle life* bertambah, namun kapasitas yang dihasilkan rendah.



Gambar 4.7 Grafik Voltase dan Arus terhadap Waktu Pada Pengujian Plat Negatif Dilapisi *Acetylene Black*



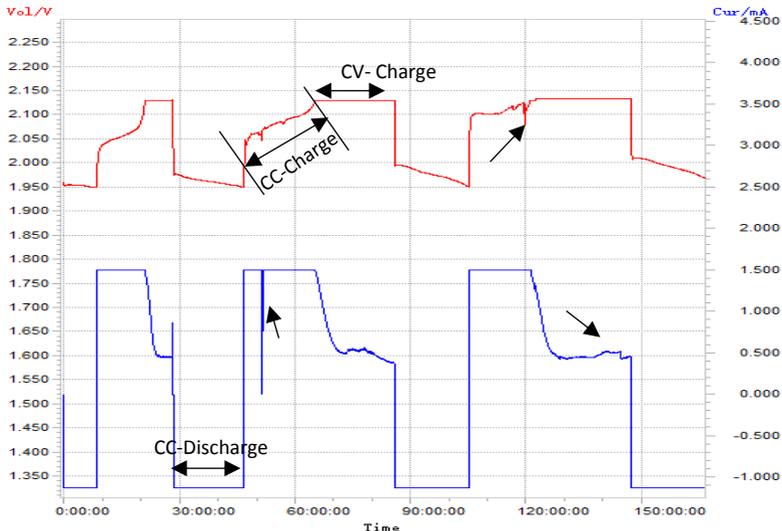
Gambar 4.8 Siklus Cepat di Pengujian Plat Negatif Dilapisi *Acetylene Black*

4.4.3 Pengujian Plat Negatif Dilapisi Norit

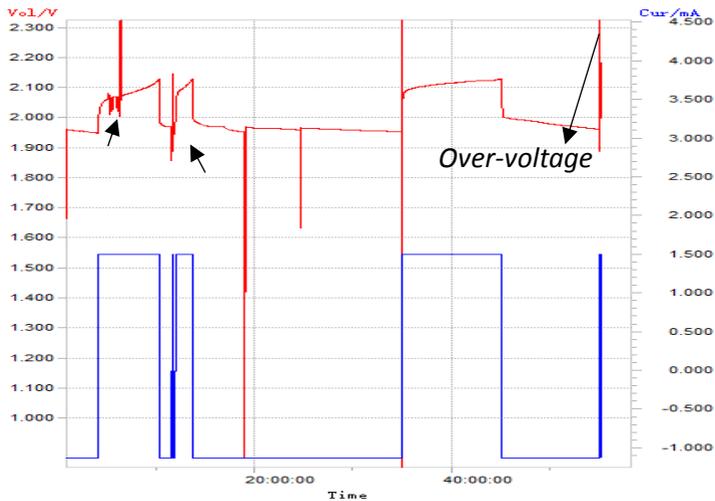
Grafik hasil pengujian plat negatif yang dilapisi *carbon material* berupa norit terlihat di gambar 4.9 dan gambar 4.10. Jumlah *cycle* keseluruhan yang diperoleh dari pengujian plat yang dilapisi norit adalah 11 *cycle*. Terdapat perbedaan bentuk grafik di gambar 4.9 dan 4.10. Hal tersebut karena perbedaan pengaturan di alat uji *8-Channel Battery Analyzer*, dimana pada gambar 4.10 tidak terdapat CV (*constant voltage*) saat charging, sehingga *step* yang ada hanya CC (*constant current*) discharge dan CC-charge. Kondisi tersebut bertujuan untuk mempercepat siklus pengujian baterai. Terlihat ada beberapa garis yang bergelombang (yang ditunjukkan dengan tanda panah). Garis

yang bergelombang tersebut disebabkan karena adanya masalah pada penjepit dan *channel* alat uji. Dimana penjepit mengalami kerusakan dan tidak mampu mengalirkan arus dengan baik.

Pengujian plat yang dilapisi norit memiliki jumlah *cycle* yang lebih sedikit dibandingkan plat yang dilapisi *acetylene black* meskipun SSA norit lebih besar dibandingkan *acetylene black*. Hal itu dikarenakan struktur yang dimiliki karbon aktif (norit) berpori. Sehingga ketika proses *charge*, elektrolit tidak bisa masuk ke dalam NAM dan bereaksi dengan cepat. Selain itu terjadi kondisi *overvoltage* (melebihi batas 2.3V) pada pengujian di plat ini. *Overvoltage* terjadi akibat adanya gangguan di kabel penghantar yang mengganggu pengujian ini.



Gambar 4. 9 Grafik Voltase dan Arus terhadap Waktu Pada Pengujian Plat Negatif Dilapisi Norit Cycle 1 Hingga Cycle 4

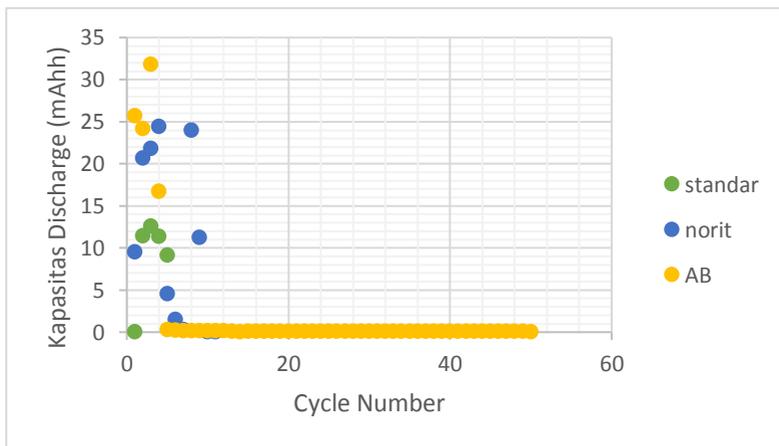


Gambar 4.10 Grafik Voltase dan Arus terhadap Waktu Pada Pengujian Plat Negatif Dilapisi Norit Cycle 5 Hingga Cycle 11

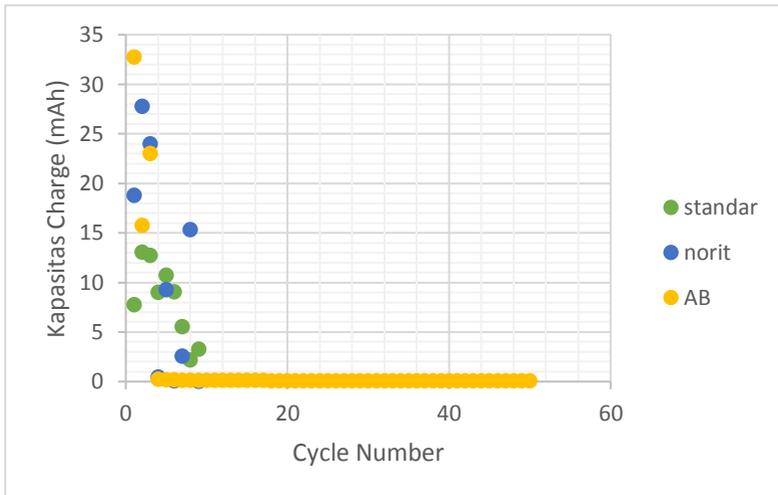
4.4.4 Grafik Voltase dan Kapasitas Pengujian 8-Channel Battery Analyzer Terhadap Cycle Number

Gambar 4.11 merupakan grafik hubungan kapasitas *discharge* terhadap jumlah siklus (*cycle*). Sedangkan gambar 4.12 adalah graafik antara kapasitas *charge* terhadap jumlah siklus. Trendline kapasitas *discharge* dan *charge* semakin lama semakin menurun. Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa pengujian plat yang dilapisi *acetylene black* (AB) memiliki jumlah *cycle* terbanyak. Hal itu dikarenakan *acetylene black* memiliki struktur butiran yang kecil dan

terekspose di permukaan NAM sehingga plat akan lebih cepat bereaksi dan *cycle life* bertambah, namun kapasitas yang dihasilkan rendah. Pengujian plat yang dilapisi norit dan plat standar memiliki jumlah *cycle* yang sedikit. Untuk menguraikan PbSO_4 menjadi Pb , dibutuhkan voltase sebesar 2.67 volt per sel. Sedangkan batas voltase yang diatur pada pengujian ini adalah 2.3V. Oleh karena itu, baterai membutuhkan *overcharge* yang terus menerus, dan tidak sesuai dengan pengaturan di alat uji ini. Jika voltase alat uji dinaikkan, jumlah *cycle* dapat bertambah namun akan berlangsung dalam waktu yang lebih lama dan kondisi *overcharge* dapat menyebabkan korosi plat. Sehingga ketidakmampuan mengurangkan PbSO_4 ini menyebabkan plat uji cenderung untuk mengalami *drop* dan memiliki jumlah *cycle* yang sedikit.



Gambar 4.11 Grafik Kapasitas *Discharge* Terhadap *Cycle Number* di Plat Uji



Gambar 4.12 Grafik Kapasitas *Charge* Terhadap *Cycle Number* di Plat Uji

4.5 Hasil Pengujian dengan *Potentiostat*

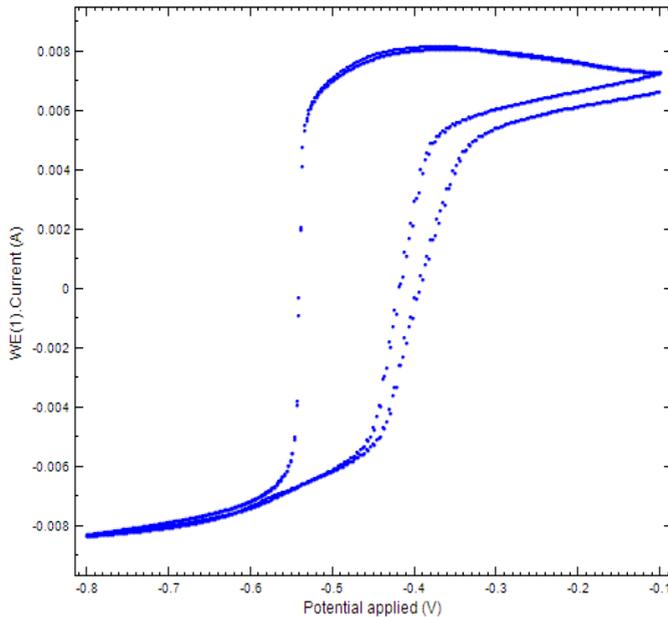
Alat uji yang digunakan di pengujian ini adalah Autolab, yang menggunakan salah satu teknik elektrolisis yaitu *cyclic voltammetry* (CV). Tujuan yang ingin dicapai dari CV ini adalah untuk menganalisa pengaruh *carbon materilas* terhadap *capacitive processes* dalam reaksi di elektroda. Jenis karbon yang digunakan di CV ini adalah norit dan *acetylene black*. Di pengujian CV ini, dibutuhkan 3 jenis elektroda yaitu Ag/AgCl sebagai *reference-electrode*, plat positif standar yang dihubungkan dengan *counter-electrode*, dan plat negatif (standar ataupun yang telah dilapisi karbon) dihubungkan dengan *working-electrode*. Elektrolit yang

digunakan adalah air zuur dengan spesifik gravitasi 1,26 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.

4.5.1 Pengujian Plat Standar Negatif

Cara pembuatan sampel uji yang digunakan pada pengujian ini sama dengan cara pembuatan sampel uji di *8-Channel Battery Analyzer*, yang telah dijelaskan di sub-bab 4.2.1. Dengan kata lain, elektroda sebagai sampel uji CV memiliki luasan 1,5 cm x 0,5 cm. Grafik hasil pengujian CV plat standar terlihat di gambar 4.13. Grafik ini menunjukkan hubungan antara arus sebagai fungsi potensial atau sering disebut juga sebagai *voltammogram*. Menurut Pavlov dan Nikolow^[16], proses terpenting yang berpengaruh terhadap kapasitas elektroda yang diberikan *carbon additive* terletak di kondisi *high rate charge* dan *discharge*. Range voltase pada pengujian plat standar negatif adalah -0,8V hingga -0.1V. Di uji CV ini, dapat diatur jumlah siklus yang diinginkan. Untuk dapat dibandingkan dengan hasil pengujian yang lainnya, maka diperlukan untuk mencari besar kapasitas yang diperoleh dari pengujian plat standar ini. Besar kapasitas dicari dengan menentukan luasan grafik yang terbentuk. Untuk mempermudah, dilakukan dengan mencari persamaan garis kemudian diintegalkan. Persamaan garis yang terbentuk di pengujian plat standar ini adalah $y = -2658x^2 + 23.87x - 0.3245$. Setelah diintegalkan, diperoleh nilai sebagai kapasitasnya adalah 6,388 mAh. Hasil pengujian plat

standar ini akan dijadikan perbandingan dengan hasil pengujian plat negatif yang dilapisi karbon.

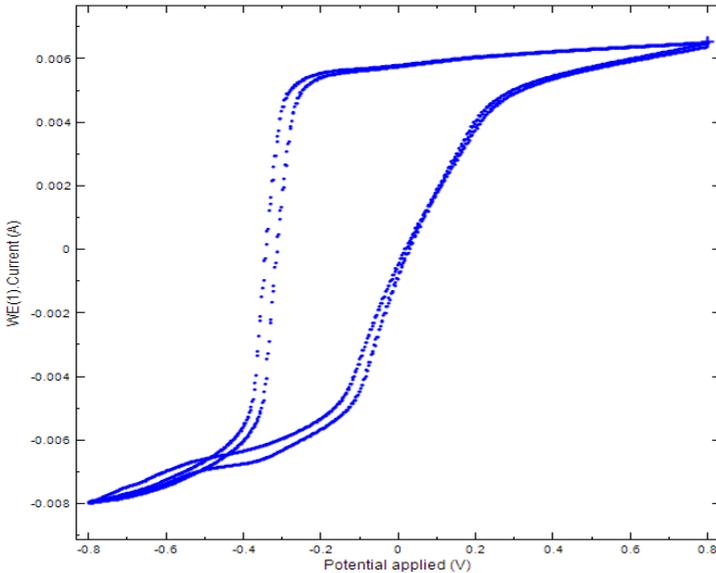


Gambar 4.13 Grafik CV Pengujian Plat Standar

4.5.2 Pengujian Plat Negatif Dilapisi *Acetylene Black*

Cara pembuatan sampel uji yang digunakan pada pengujian ini sama dengan cara pembuatan sampel uji di *8-Channel Battery Analyzer*, yang telah dijelaskan di sub-bab 4.2.2. Grafik hasil pengujian CV plat negatif yang dilapisi *acetylene black* (AB) terlihat di gambar 4.14. *Range* voltase pada pengujian plat standar negatif adalah -0,8V hingga 0.8V. Persamaan garis yang terbentuk pada pengujian plat

negatif yang dilapisi *acetylene black* adalah $y = -172.51x^2 + 68.023x - 0.0456$. Setelah diintegrasikan, diperoleh nilai sebagai kapasitasnya adalah 1.41 mAh.

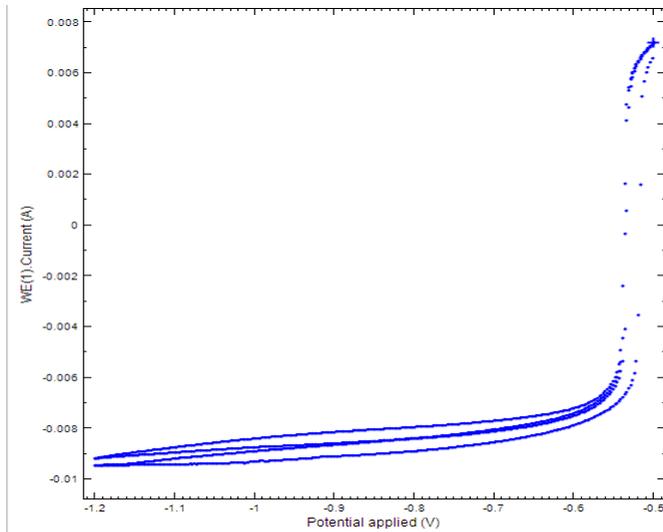


Gambar 4.14 Grafik CV Pengujian Plat Negatif Dilapisi *Acetylene Black*

4.5.3 Pengujian Plat Negatif Dilapisi Norit

Cara pembuatan sampel uji yang digunakan pada pengujian ini sama dengan cara pembuatan sampel uji di *8-Channel Battery Analyzer*, yang telah dijelaskan di sub-bab 4.2.3. Grafik hasil pengujian CV plat negatif yang dilapisi norit terlihat di gambar 4.15. *Range* voltase pada pengujian plat standar negatif adalah -1.2V hingga -0.5V. Persamaan garis yang terbentuk pada pengujian plat negatif yang dilapisi

acetylene black adalah $y = -12270x^2 - 2.1417x - 0.014$. Setelah diintegrasikan, diperoleh nilai sebagai kapasitasnya adalah 6,516 mAh.



Gambar 4.15 Grafik CV Pengujian Plat Negatif Dilapisi Norit

Tabel 4. 2 Perbandingan Kapasitas Plat Uji dengan 2 Alat Uji Yang Digunakan

NO.	Kapasitas Plat Standar (mAh)	Kapasitas Plat Dilapisi Norit (mAh)	Kapasitas Plat Dilapisi <i>Acetylene Black</i> (mAh)
<i>8-Channel Battery Analyzer</i>	7.540444	10.71018	2.04614
<i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	6,388	6,516	1,41

Dari Tabel 4.1 dapat terlihat bahwa kapasitas tertinggi pada pengujian *8 Channel Battery Analyzer* dan *cyclic voltammetry (CV)* adalah plat yang dilapisi norit. Sedangkan kapasitas terendah adalah plat yang dilapisi *acetylene black*. Secara teoritis, kapasitas tertinggi adalah plat yang dilapisi norit. Hal tersebut disebabkan karena SSA (*specific surface area*) yang lebih luas dibandingkan dengan *acetylene black*. Dimana SSA Norit berkisar antara 958 m²/gr hingga 1150 m²/gr, sedangkan SSA *acetylene black* 68 m²/gr. Namun hasil yang ditunjukkan dari pengujian di *8 Channel Battery Analyzer* adalah jumlah siklus (*cycle*) terbanyak di pengujian plat yang dilapisi *acetylene black* walaupun kapasitasnya rendah. Hal tersebut disebabkan oleh struktur butiran yang dimiliki *acetylene black* kecil dan terdapat di permukaan NAM sehingga plat akan lebih cepat bereaksi dan *cycle life* bertambah, namun kapasitas yang dihasilkan rendah.

4.6 Kegagalan dan Kendala Dalam Percobaan

Dalam pengujian ini, terjadi beberapa kegagalan dalam pelaksanaannya, yang mengganggu keakuratan data yang diperoleh. Kegagalan tersebut dapat dipengaruhi oleh faktor internal maupun faktor eksternal. Penjelasan kegagalan dan kendala yang terjadi akan dijelaskan sebagai berikut.

4.6.1 Protect

Kondisi “*protect*” ini terjadi di pengujian *8-Channel Battery Analyzer*. Penyebab terjadinya kondisi ini yaitu plat uji telah mengalami kerusakan (*cycle life* habis), terjadinya *short circuit* pada plat uji, atau plat uji tergeser/tersenggol karena kurangnya pengawasan ketika pengujian ini dilakukan. Contoh *channel* yang mengalami “*protect*” terlihat seperti gambar 4.16.

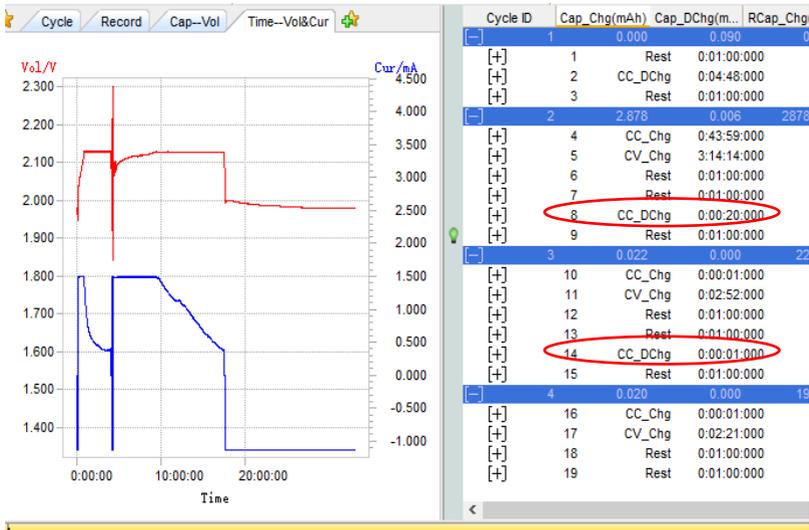


Gambar 4.16 Kondisi *Protect* Di Pengujian *8-Channel Battery Analyzer*

4.6.2 *Discharging* Terlalu Cepat

Terlalu cepatnya *discharge* juga terjadi di pengujian *8-Channel Battery Analyzer*, dimana *discharge* hanya berjalan selama beberapa menit atau bahkan satu detik

kemudian berlanjut ke *charging* dengan waktu yang cukup lama. Akibatnya, data dan grafik yang dihasilkan tidak sesuai dengan acuannya (gambar 4.5), seperti yang terlihat pada gambar 4.17.

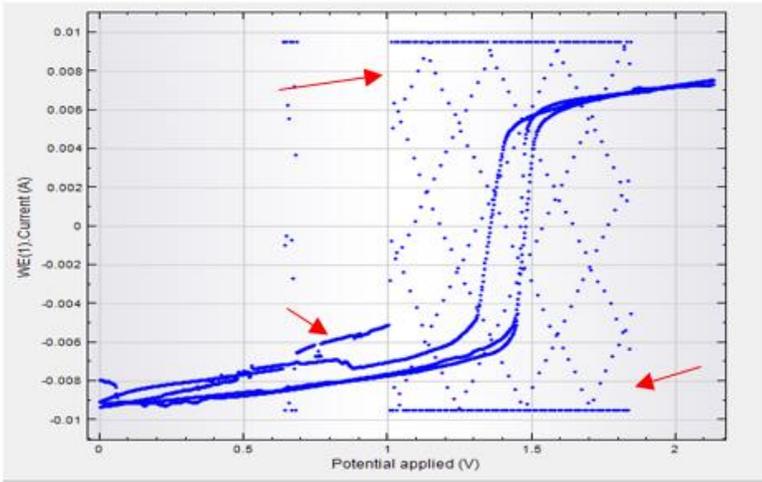


Gambar 4.17 Kondisi *Discharge* Terlalu Cepat

4.6.3 Noise pada Uji CV

Kondisi *noise* terjadi di pengujian CV (*cyclic voltammetry*). Noise ini terjadi karena adanya gangguan dari faktor eksternal yaitu kebisingan suara ketika pengujian, sentuhan, dan getaran pada alat uji. Akibat dari adanya *noise* yang berlebihan tentu menyebabkan kurang akuratnya data yang diperoleh. *Noise* pada uji CV terlihat di gambar 4.18 yang ditunjukkan dengan tanda panah. Namun, ketika

dilakukan pengujian ulang dengan kondisi yang lebih tenang, data yang dihasilkan tidak mengandung *noise*.



Gambar 4.18 Kondisi *Noise* Pada Uji CV

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Plat negatif yang dilapisi *acetylene black* dan norit memiliki *cycle life* yang lebih banyak dibandingkan dengan plat negatif standar. Dimana *cycle life* plat negatif yang dilapisi *acetylene black*, norit, dan plat standar berturut-turut adalah 649, 11, dan 9 *cycle*.
2. Plat negatif yang dilapisi norit memiliki kapasitas yang lebih besar dan *cycle life* yang lebih sedikit dibandingkan dengan plat negatif yang dilapisi *acetylene black*.
3. Peningkatan kapasitas plat negatif dilapisi norit tidak memiliki peningkatan kapasitas yang signifikan dibanding kapasitas plat standar. Sedangkan kapasitas plat negatif yang dilapisi *acetylene black* lebih rendah 34,79% dibandingkan dengan plat standar.

5.2 Saran

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

1. Alat uji 8-*Channel Battery Analyzer* sebaiknya di kalibrasi terlebih dahulu supaya antara *channel* satu dengan yang lainnya tidak ada ketimpangan data.

2. Alangkah lebih baik untuk mengadakan analisa SEM dan XRD agar perbedaan fasa dan struktur kristal dari massa aktif plat negatif baterai *lead acid* sebelum dan setelah dilapis karbon lebih terlihat.

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>
(Akses: 23 Maret 2017)
- [2] T.B. Reddy, D. Linden, Linden's handbook of batteries, (2011)
- [3] 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
- [4] K.R.Bullock, Carbon reactions and effects on valve-regulated lead-acid (VRLA) battery life cycle in high-rate, partial state-of-charge cycling, *J. Power Sources* 195 (2010) 4513-4519
- [5] K.Nakamura, et al., Failure modes of valve-regulated lead/acid batteries, *J. Power Sources* 59 (1996) 153-157
- [6] D.Pavlov, P. Nikolov, Capacitive carbon and electrochemical lead electrode systems at the negative plates of lead-acid batteries and elementary processes on cycling, *J. Power Sources* 242 (2013) 380-399
- [7] 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.
- [8] Erlina,,dkk. Pengaruh Konsentrasi Larutan KOH pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa untuk Adsorpsi Kelapa untuk Adsorpsi Logam Cu. 2015
- [9] Suozzo, Christopher, 2008. *Lead-acid Battery And State of Health Diagnosis*. Ohio : The Ohio State University
- [10] D.Pavlov, P. Nikolov, Additives to The Pastes for Positive and Negative, *J. Power Sources* 242 (2013) 325-330

- [11] K. Nakamura, M. Shiomi, K. Takahashi, M. Tsubota, Failure modes of valve-regulated lead/acid batteries, *J. Power Sources* 59 (1996) 153
- [12] A. Jossen, J. Garche, D.U. Sauer, Operation conditions of batteries in PV applications, *Sol. Energy*. 76 (2004) 759–769.
- [13] D.Pavlov, P. Nikolov, Influence of Carbon on The Structure of The Negative Active Material of Lead-acid Batteries and on Battery Performance, *J. Power Sources* (2011).
- [14] X. Zou *et al.* Effect of Carbon Additives on The Performance of Negative Electrode of Lead-Carbon Battery. *Electrochimica Acta* 151 (2015) 89-98.
- [15] Joey Jun *et al.* Lead-acid Battery Technologies: Fundamentals, Materials, and Applications. Taylor & Francis Group (2015), 215-216.
- [16] A. Jaiswal, S.C. Chalasani, The Role of Carbon in The Negative Plate of The Lead-Acid Battery, *Journal of Energy Storage* (2015), 15-21.

LAMPIRAN

1. Data Hasil Pengujian *Discharge*

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

2. Data Hasil Pengujian *Charge*

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



Vincentia Anna Swandewi dilahirkan di Badung, Bali pada tanggal 5 Januari 1996 dari orangtua bernama John Sugiarto dan Maria Hari Suryawati. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari SDK Thomas Aquino Bali pada tahun 2001-2007. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMPK Thomas Aquino Bali pada tahun 2007-2010, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMA Stella Duce 1 Yogyakarta pada tahun 2010-2013. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di jenjang S1 Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan bidang studi Rekayasa Sistem Industri.

Penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan dengan menjadi staff divisi *Racing* di Klub Mesin ITS Autosport pada tahun 2014-2015. Dan Sekretaris di Klub Mesin ITS Autosport tahun 2015-2016. Penulis juga mengikuti berbagai pelatihan manajemen diri dan kegiatan pengembangan diri yang diselenggarakan kampus. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email annaswandewi@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)