



**SKRIPSI**

**ANODA BATERAI ION LITHIUM DARI  
GRAFIT BATERAI ION LITHIUM BEKAS :  
UJI PERFORMA *CYCLIC VOLTAMMETRY*  
(CV) DAN *CHARGE-DISCHARGE* (CD)**

**ADELIA RISKA PRATIWI  
NRP. 0121154000084**

**Dosen Pembimbing  
Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D  
Suprpto, Ph.D**

**DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS SAINS  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**



**SCRIPT**

**LITHIUM ION BATTERY ANODES FROM  
USED LITHIUM ION BATTERY GRAPHITE :  
CYCLIC VOLTAMMETRY (CV) AND  
CHARGE-DISCHARGE (CD)  
PERFORMANCE TESTS**

**ADELIA RISKA PRATIWI  
NRP. 0121154000084**

**Supervisor  
Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D  
Suprpto, Ph.D**

**CHEMISTRY DEPARTMENT  
FACULTY OF SCIENCE  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**

**ANODA BATERAI ION LITHIUM DARI GRAFIT BATERAI ION  
LITHIUM BEKAS : UJI *PERFORMA CYCLIC VOLTAMMETRY*  
(CV) DAN *CHARGE-DISCHARGE* (CD)**

**SKRIPSI**

Disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan mata kuliah skripsi  
program S-1 Departemen Kimia  
Fakultas Sains  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh:

**Adelia Riska Pratiwi**  
**NRP. 0121154000084**

**DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS SAINS  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**ANODA BATERAI ION LITHIUM DARI GRAFIT BATERAI**  
**ION LITHIUM BEKAS : UJI PERFORMA CYCLIC**  
**VOLTAMMETRY (CV) DAN CHARGE-DISCHARGE (CD)**

**SKRIPSI**

Oleh:

**ADELIA RISKA PRATIWI**  
**NRP. 0121154000084**

Surabaya, 3 Juli 2019

Menyetujui

Dosen Pembimbing I



**Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D**  
**NIP. 19840524 200812 2 006**

Dosen Pembimbing II



**Suprpto, Ph.D**  
**NIP . 19720919 199802 1 002**

Pembimbing III



**Dr. Ir. Bambang Prihandoko, M.T.**  
**NIP. 19651225 198701 1 001**



Mengetahui,  
Kepala Departemen Kimia



**Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si., M.Sc.**  
**NIP. 19710616 199703 1 002**

**ANODA BATERAI ION LITHIUM DARI GRAFIT BATERAI  
ION LITHIUM BEKAS : UJI *PERFORMA CYCLIC*  
*VOLTAMMETRY (CV) DAN CHARGE-DISCHARGE (CD)***

**SKRIPSI**

Oleh:

**ADELIA RISKA PRATIWI**  
**NRP. 01211540000084**

Surabaya, 3 Juli 2019

Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D**  
**NIP. 19840524 200812 2 006**

**Suprpto, Ph.D**  
**NIP . 19720919 199802 1 002**

Pembimbing III

Mengetahui,  
Kepala Departemen Kimia

**Dr. Ir. Bambang Prihandoko, M.T.**  
**NIP. 19651225 198701 1 001**

**Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si., M.Sc.**  
**NIP. 19710616 199703 1 002**



**ANODA BATERAI ION LITHIUM DARI GRAFIT  
BATERAI ION LITHIUM BEKAS : UJI PERFORMA  
CYCLIC VOLTAMMETRY (CV) DAN CHARGE-  
DISCHARGE (CD)**

**Nama** : Adelia Riska Pratiwi  
**NRP** : 0121154000084  
**Departemen** : Kimia FS ITS  
**Dosen Pembimbing** : Yatim Lailun Ni'mah Ph.D.

**ABSTRAK**

Material anoda telah berhasil didaur ulang dari Baterai Ion Lithium (LIB) bekas menggunakan pemisahan mekanis. Limbah LIB bekas sebagian besar akan berakhir di tempat penimbunan sampah sehingga menyebabkan pencemaran tanah. Metode daur ulang secara mekanis dapat diterapkan untuk mengurangi limbah LIB bekas. Material anoda LIB bekas dikarakterisasi untuk mengetahui karakteristiknya dan dibandingkan dengan material anoda LIB baru. Penambahan grafit dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa baterai. Hasil penelitian menunjukkan anoda LIB bekas memiliki struktur yang sama dengan anoda LIB baru serta cocok dengan JCPDS No. 96-901-1578 yang merupakan struktur grafit. Penambahan grafit menyebabkan arus puncak anodik semakin tinggi. Anoda LIB bekas dengan variasi penambahan grafit 0% memiliki efisiensi yang lebih baik dibanding variasi penambahan 5% grafit dari berat sampel dengan kapasitansi spesifik yang didapat sebesar 137,611 mAh/g.

**Kata Kunci** : Baterai ion lithium, grafit, anoda, pemisahan mekanis, *Cyclic Voltammetry*, *Charge-discharge*

# **LITHIUM ION BATTERY ANODES FROM USED LITHIUM ION BATTERY GRAPHITE : CYCLIC VOLTAMMETRY (CV) AND CHARGE-DISCHARGE (CD) PERFORMANCE TESTS**

**Nama** : Adelia Riska Pratiwi  
**NRP** : 0121154000084  
**Departemen** : Kimia FS ITS  
**Dosen Pembimbing** : Yatim Lailun Ni'mah Ph.D.

## **ABSTRACT**

The anode material has been successfully recycled from used Lithium Ion Battery (LIB) using mechanical separation. Most of the used LIB wastes will end up in landfills, causing soil contamination. Mechanical recycling methods can be applied to reduce used LIB waste. The used LIB anode material was characterized to determine its characteristics and compared to the new LIB anode material. The addition of graphite is done to determine the effect on battery performance. The results showed that used LIB anodes had the same structure as the new LIB anode and were compatible with JCPDS No. 96-901-1578 which is a graphite structure. Addition of graphite causes anodic peak flow to be higher. Used LIB anodes with variations in the addition of 0% graphite have better efficiency than the variation of adding 5% graphite with specific capacitance obtained at 137.611 mAh /g.

**Keyword:** Lithium Ion Batteries, graphite, anode materials, mechanical separation, cyclic voltammetry, charge-discharge



## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir yang berjudul “Anoda Baterai Ion Lithium Dari Grafit Baterai Ion Lithium Bekas : Uji Performa Cyclic Voltammetry (CV) Dan Charge-Discharge (CD)”.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Yatim Lailun Ni'mah, M.Si, Ph.D dan Bapak Suprpto, Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Bambang Prihandoko, M.T. selaku pembimbing di Pusat Penelitian Fisika LIPI yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan mengenai penelitian ini sehingga Tugas Akhir ini berjalan dengan lancar.
3. Bapak Prof. Dr. Taslim Ersam, M.S. selaku dosen wali yang telah membimbing dan mengarahkan selama masa perkuliahan.
4. Ibu Dra. Ita Ulfin, M.Si., Bapak Arif Fadlan, S.Si., M.Si., D.Sc., Bapak Dr. Hendro Juwono, M.Si., dan Bapak Wahyu Prasetyo Utomo, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji Sidang Tugas Akhir.
5. Prof. Didik Prasetyoko, M.Si, Ph.D., selaku Kepala Departemen Kimia ITS
6. Keluarga tercinta, ibu, ayah, dan adik saya yang selalu memberi dukungan dan doa.
7. Teman-teman satu tim baterai, Cynthia, Camelia dan Diajeng
8. Sahabat-sahabat saya, Badzlin, Aqila, Erni, Dita.
9. Penghuni kos komplek batan lama, Mbak Endah, Mbak Dewi, dan Mbak Silmi.
10. Teman-teman mahasiswa Laboratorium Instrumen dan Sains Analitik
11. Teman-teman Goldschmidt yang selalu memberikan semangat untuk mengerjakan naskah Tugas Akhir ini.
12. Semua pihak yang telah membantu, yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini tidak lepas dari kekurangan, oleh karena itu penulis terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun. Semoga Tugas Akhir ini memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Juni 2019  
Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Baterai.....	5
2.1.1. Jenis-Jenis Baterai .....	5
2.2 Baterai Ion Lithium .....	7
2.2.1 Anoda .....	9
2.2.2 Katoda.....	11
2.2.3 Elektrolit .....	12
2.2.4 Separator.....	13
2.3 Karbon sebagai Material Anoda pada Baterai Ion Lithium .....	14
2.3.1 <i>Soft Carbon</i> .....	14
2.3.2 <i>Hard Carbon</i> .....	14
2.3.3 Grafit.....	15

2.4 <i>Solid-Electrolyte Interphase (SEI)</i> .....	16
2.5 Penelitian Sebelumnya .....	17
2.6 Sifat Bahan yang digunakan .....	18
2.6.1 NMP .....	18
2.6.2 PVDF .....	19
2.6.3 Super P.....	19
2.6.4 LiPF <sub>6</sub> .....	20
2.7 Karakterisasi dan Pengujian .....	21
2.7.1 X-Ray Diffraction.....	21
2.7.2 <i>Fourier-Transform Infrared Spectrometer (FTIR)</i> .....	22
2.7.3 <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i> .....	25
2.7.4 <i>Charge-Discharge (CD)</i> .....	26
<b>BAB III METODOLOGI PERCOBAAN</b> .....	<b>29</b>
3.1 Alat dan Bahan .....	29
3.1.1 Alat .....	29
3.1.2 Bahan .....	29
3.2 Prosedur Kerja .....	29
3.2.1 Preparasi Sampel .....	29
3.2.2 Pembuatan Variasi Penambahan Grafit.....	30
3.2.3 Pembuatan Lembaran Anoda.....	30
3.2.4 Perangkaian Koin Sel .....	30
3.2.5 Karakterisasi .....	31
3.2.6 Uji Elektrokimia .....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>33</b>
4.1 Uji Material Anoda.....	33

4.1.1 Karakterisasi Difraksi Sinar X-ray .....	33
4.1.2 Karakterisasi FTIR .....	34
4.2 Uji Performa Baterai.....	36
4.2.1 <i>Cyclic Voltammetry</i> .....	36
4.2.2 <i>Charge-Discharge</i> .....	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA .....	43
LAMPIRAN.....	51
BIODATA PENULIS .....	65

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komponen dari Sel Baterai Lenclanche .....	6
Gambar 2.2 Bentuk dan komponen baterai ion lithium.....	7
Gambar 2.3 Skema mekanisme proses pengisian dan pelepasan ion lithium .....	8
Gambar 2.4 Proses discharge pada anoda .....	9
Gambar 2.5 Struktur dari Soft Carbon.....	14
Gambar 2.6 Struktur dari Hard Carbon .....	15
Gambar 2.7 Struktur Hexagonal dari Grafit .....	15
Gambar 2.8 Proses Interkalasi pada Grafit.....	16
Gambar 2.9 Struktur Kimia dari NMP .....	18
Gambar 2.10 Struktur Kimia dari PVDF.....	19
Gambar 2.11 Super P.....	19
Gambar 2.12 Struktur Kimia dari $\text{LiPF}_6$ .....	20
Gambar 2.13 Skema dari alat Difraksi sinar X.....	21
Gambar 2.14 Spektra XRD standar dari Graphite .....	22
Gambar 2.15 Skema FTIR .....	24
Gambar 2.16 Spektra FTIR dari Grafit dan Oksida Grafit .....	25
Gambar 2.17 Skema alat dari CV .....	25
Gambar 2.18 Voltamogram CV dari Grafit.....	26
Gambar 2.19 Hasil CD dari Grafit .....	27
Gambar 3.1 Skema Penyusunan Koin Sel untuk Half Cell .....	31
Gambar 4.1 Spektra XRD dari material anoda.....	33
Gambar 4.2 Spektra FTIR dari material anoda.....	34
Gambar 4.3 Voltamogram CV.....	36
Gambar 4.4 Kurva CD.....	38

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Material yang pernah digunakan untuk anoda.....	10
Tabel 2.2 Material yang pernah digunakan untuk katoda.....	12
Tabel 2.3 Sifat fisika dan Kimia dari NMP .....	18
Tabel 2.4 Sifat Fisik dan Kimia dari Super P .....	20
Tabel 2.5 Sifat Fisik dan Kimia dari $\text{LiPF}_6$ .....	20
Tabel 2.6 Daftar gugus fungsi dan bilangan gelombangnya .....	23
Tabel 4.1 Puncak yang terbentuk dari Spektra FTIR.....	35
Tabel 4.2 Hasil pengukuran CV .....	37
Tabel 4.3 Massa Material aktif dan Kapasitansi Spesifik.....	37





## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Baterai ion lithium (LIB) merupakan jenis baterai isi ulang dengan kelebihan seperti kepadatan energi dan potensial sel yang tinggi, komponen baterai yang ringan, umur pakai yang lama, rentang suhu yang lebar serta lebih aman dibanding baterai lain (Ordenez, dkk., 2016). Produksi LIB mengalami peningkatan dari 2,05 miliar di tahun 2005 menjadi 5,86 miliar di tahun 2012 (Li, dkk., 2015). Kenaikan produksi baterai lithium juga diikuti oleh peningkatan limbah LIB bekas.

Baterai ion lithium memiliki umur pakai tertentu, apabila sudah habis maka baterai tidak dapat digunakan kembali dan menjadi limbah. Limbah LIB bekas sebagian besar akan berakhir di tempat penimbunan sampah padatan (Winslow, dkk., 2018). Kondisi ini memunculkan masalah baru berupa pencemaran tanah akibat kebocoran elektrolit organik dan logam berat seperti tembaga dan nikel yang terkandung dalam baterai (Shin, dkk., 2005). Penanganan lain yang dapat dilakukan selain menimbun LIB bekas yaitu melakukan stabilisasi, pengabuan dan daur ulang.

Stabilisasi adalah proses *pre-treatment* yang dilakukan terhadap LIB bekas sebelum dibuang ke lingkungan. Metode ini jarang digunakan karena membutuhkan biaya yang mahal. Pengabuan merupakan proses pembakaran LIB bekas. Metode ini juga membahayakan lingkungan karena emisi gas yang dihasilkan dari pembakaran (Bernades, dkk., 2004). Penanganan terakhir yang juga telah dipilih oleh banyak negara adalah daur ulang LIB bekas. Keuntungan daur ulang LIB selain mengurangi resiko pencemaran lingkungan juga dapat menjadi salah satu sumber pemenuhan kebutuhan LIB di masa depan. Negara-negara seperti Jepang, China, Kanada dan negara di Uni Eropa telah memiliki

peraturan dan regulasi yang mengatur daur ulang LIB bekas (Winslow, dkk., 2018)

Penelitian yang telah dilakukan untuk mendaur ulang LIB bekas difokuskan pada memisahkan logam dengan cara mengubah logam padat dari LIB bekas menjadi bentuk alloy dari logam tersebut sehingga dapat lebih mudah dipisahkan pada tahap selanjutnya (Zheng, dkk., 2018). Beberapa metode yang pernah digunakan untuk proses pemisahan yaitu Pirometalurgi, Hidrometalurgi, Biometalurgi, Mekanis, dan lain-lain.

Penelitian yang dilakukan oleh Li dkk. di tahun 2016 menggunakan proses pirometalurgi yaitu dengan membakar  $\text{LiCoO}_2$  dan grafit pada suhu  $1000^\circ\text{C}$  selama 30 menit dalam gas nitrogen. Hasil pembakaran diperoleh lithium karbonat ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ), karbon, dan cobalt (Li, dkk., 2016). Proses daur ulang LIB bekas secara hidrometalurgi telah dilakukan oleh mishra dkk. pada tahun 2014 menggunakan 3 jenis asam yang berbeda yaitu  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ , dan  $\text{HCl}$  untuk memisahkan lithium nikel kobalt alumunium oksida (NCA). Hasil menunjukkan  $\text{HCl}$  merupakan agen pemisah terbaik dimana hampir 100% logam dapat dipisahkan dari material katoda (Joulie, dkk., 2014).

Metode biometalurgi menggunakan bakteri sebagai agen pemisah logam padat dari LIB bekas. Mishra dkk pada tahun 2008 menggunakan bakteri *Acidithiobacillus ferroxidans* untuk memisahkan Co dan Li dari LIB bekas. Hasil menunjukkan tingkat pemisahan Co lebih tinggi dibanding Li, namun hasil pemisahan yang didapat dari kedua logam masih rendah pada kondisi yang sudah dioptimalkan (Mishra, dkk., 2008).

Proses daur ulang LIB bekas pada penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan kembali material anoda menggunakan metode mekanis. Metode ini dipilih karena anoda komersial menggunakan bahan berupa polimer untuk mengikat material anoda dengan lembaran tembaga. Bahan ini menyebabkan sifat yang buruk pada

permukaan lembaran tembaga sehingga material anoda dapat diperoleh kembali melalui metode mekanis (Linden dan David, 2002). Beberapa keuntungan yang diperoleh bila mendaur ulang LIB bekas melalui metode mekanis. Pertama, mengurangi kebutuhan sumber grafit baru dan aliran limbah dengan menggantinya menggunakan grafit bekas yang ditambahkan aditif. Selain itu, metode mekanis dapat menekan potensi kerusakan lingkungan akibat penggunaan bahan kimia saat proses daur ulang.

Material anoda yang diperoleh dari proses pemisahan mekanis kemudian langsung dibentuk kembali menjadi lembaran anoda. Penambahan grafit dilakukan untuk mengetahui pengaruh *binder* dan pelarut yang terdapat pada material anoda. Pengujian secara elektrokimia dilakukan untuk mengetahui performa baterai.

## **1.2 Permasalahan**

Pada penelitian ini digunakan anoda LIB bekas dari perangkat laptop untuk digunakan kembali menjadi material anoda. Anoda LIB bekas dikarakterisasi XRD dan FTIR untuk mengetahui karakteristiknya. Material anoda LIB bekas kemudian dibentuk kembali menjadi lembaran anoda dengan menambahkan grafit. Baterai yang terbentuk diuji performa kerjanya menggunakan CV dan CD serta dibandingkan dengan anoda LIB baru

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik material anoda LIB bekas dari perangkat laptop serta dibentuk kembali menjadi lembaran anoda dengan menambahkan grafit yang kemudian diuji performa baterainya dan dibandingkan dengan anoda LIB baru.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan penelitian ini yaitu:

1. Anoda LIB bekas berasal dari baterai laptop
2. Metode pengambilan anoda LIB bekas dilakukan secara mekanis
3. Material anoda LIB bekas tidak melalui perlakuan tertentu
4. Variasi penambahan yaitu 0%, dan 5% grafit dari berat sampel
5. Pembuatan lembaran anoda baru menggunakan perbandingan PVDF : *Carbon Black* : material anoda sebesar 10:5:85
6. Pengujian yang dilakukan yaitu XRD, FTIR, CV, dan CD

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat penelitian ini yaitu:

1. Membantu mencari sumber grafit baru untuk anoda baterai ion lithium
2. Mengurangi limbah baterai ion lithium bekas.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Baterai**

Baterai adalah alat penyimpan energi dan listrik (Enterprise, 2010). Baterai terdiri atas dua atau lebih sel elektrokimia, sel tersebut yang bertugas mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik (Crompton, 2000). Suatu sel terdiri atas elektroda negatif (anoda), elektroda positif (katoda) dan larutan elektrolit. Saat baterai bekerja terjadi reaksi oksidasi-reduksi yang merubah reaktan dari berenergi tinggi ke berenergi rendah dan mengakibatkan elektron bergerak dari anoda ke katoda dengan melewati perangkat listrik yang tersambung ke baterai. Perbedaan energi tersebut digunakan perangkat listrik sebagai energi listrik (Schmidt-Rohr, 2018).

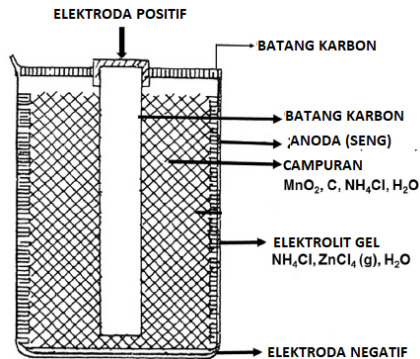
##### **2.1.1. Jenis-Jenis Baterai**

###### **2.1.1.1 Baterai Primer**

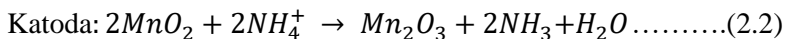
Baterai Primer disebut juga baterai sel kering merupakan jenis baterai yang hanya bisa dipakai hingga energinya habis lalu dibuang. Saat reaktan di dalam baterai habis maka baterai tidak mampu menghasilkan arus. Pada baterai jenis ini reaksi yang terjadi searah, sehingga tidak dapat diisi kembali. Kelebihan baterai jenis ini yaitu memiliki kepadatan energi yang tinggi, murah, mudah didapat dan digunakan pada banyak produk karena penggunaannya yang sekali pakai (Dingrando, 2007). Salah satu jenis baterai primer yang paling banyak digunakan adalah baterai alkali-mangan (Zhang L. , 2001).

Baterai ini pertama kali diperkenalkan oleh Gassner pada tahun 1888. Gressner memodifikasi sel baterai milik Leclanche yang merupakan baterai sel seng-karbon basah. Istilah sel kering bukan berarti baterai tersebut benar-benar kering, tetapi baterai tidak akan tumpah dalam posisi apapun. Hal ini

dikarenakan elektrolit disimpan dalam bentuk gel atau terdapat bahan penyerap agar elektrolit tidak tumpah (Viswanathan, 2017). Sel baterai Leclanche menggunakan seng sebagai anoda, mangan dioksida sebagai katoda dan garam  $\text{NH}_4\text{Cl}$  sebagai elektrolit (Kordesch dan Taucher-Mautner, 2009). Reaksi yang terjadi pada sel baterai Leclanche ditunjukkan oleh persamaan 2.1-2.3. Gambar 2.1 menunjukkan komponen dari sel baterai Leclanche.



Gambar 2.1 Komponen dari Sel Baterai Leclanche  
(Viswanathan, 2017)



(Chemistry LibreTexts, 2019)

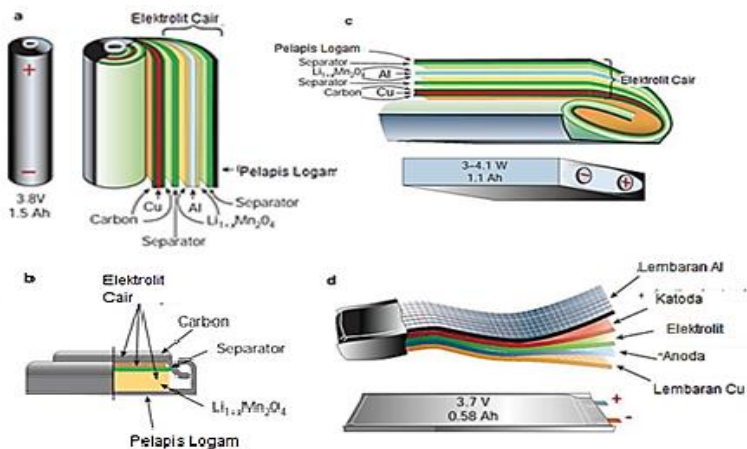
### 2.1.1.2 Baterai Sekunder

Baterai Sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang. Baterai ini mengalami reaksi kimia bolak-balik dengan menerapkan arus listrik yang mampu kembali lagi ke sel. Arus ini membuat sel terisi penuh dan elektroda mencapai keadaan semula (Aifantis, dkk., 2010). Sehingga dapat digunakan kembali dalam beberapa kali. Pesatnya pertumbuhan penggunaan perangkat elektronik seperti telepon seluler, laptop, kamera diikuti juga

dengan permintaan terhadap baterai sekunder dari berbagai jenis. Beberapa jenis baterai sekunder yaitu baterai *lead-acid*, baterai *nickel-cadmium* (Ni-Cd), baterai *nickel-metal hydride* (NiMH), dan baterai ion lithium (Burheim, 2017).

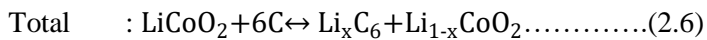
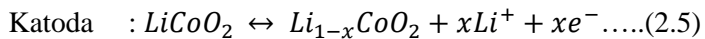
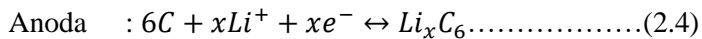
## 2.2 Baterai Ion Lithium

Baterai ion lithium merupakan salah satu jenis baterai isi ulang yang telah banyak digunakan di berbagai peralatan elektronik. Kelebihan baterai ini yaitu memiliki waktu pengisian yang singkat (2-4 jam), efek memori yang rendah, penurunan kinerja baterai yang rendah (5-10% per bulan) dan umur pakai yang lama (3 tahun) (Eriksson, 2001). Baterai ini pertama kali ditemukan oleh M Stanley Whittingham pada tahun 1960an saat bekerja di perusahaan Exxon. Pada penemuannya elektroda yang digunakan berasal dari titanium(IV) sulfida dan logam lithium. Baterai ion lithium kemudian dikomersialkan oleh perusahaan *Sony Corporation* pada tahun 1991 menggunakan  $\text{LiCoO}_2$  sebagai material katoda dan *soft carbon* sebagai material anoda (Loeffler, dkk., 2015).

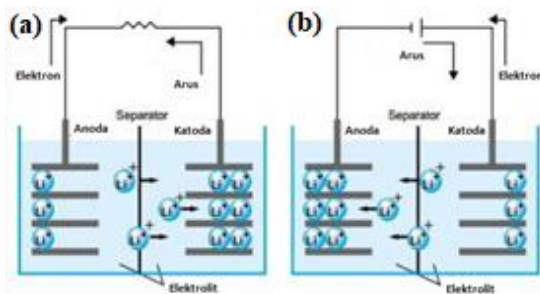


Gambar 2.2 Bentuk dari berbagai baterai ion lithium (a) silindris; (b) koin; (c) prisma; (d) tipis (Zeng, dkk., 2014)

Gambar 2.2 menunjukkan bentuk dan komponen dari berbagai baterai ion lithium. Baterai ion lithium dengan berbagai macam bentuk dan ukuran dibuat untuk memenuhi kebutuhannya di berbagai macam perangkat listrik. Gambar 2.2 juga menunjukkan komponen penting dari baterai ion lithium terdiri atas larutan elektrolit, separator dua jenis elektroda yaitu elektroda positif (katoda) dan elektroda negatif (anoda). Gambar 2.3 merupakan skema mekanisme proses pengisian dan pelepasan muatan elektron yang terjadi di dalam baterai ion lithium. Saat pengisian dan pelepasan muatan, ion lithium akan bergerak bolak-balik melewati separator di dalam larutan elektrolit (Zhang L., 2001). Reaksi yang terjadi di elektroda ditunjukkan oleh persamaan 2.4-2.6.



(Zhang L., 2001)



Gambar 2.3 Skema mekanisme (a) proses pengisian dan (b) proses pelepasan ion lithium (Sony, 2009)

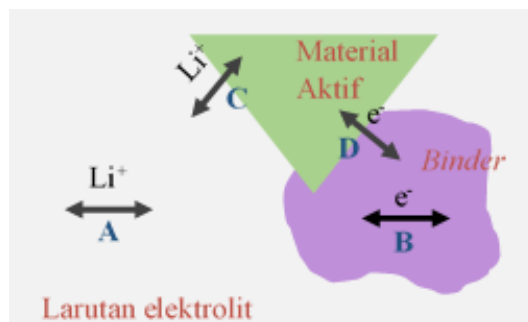
Prinsip kerja dari baterai ion lithium dimulai dengan terionisasinya material aktif dari katoda yang menghasilkan ion lithium dengan muatan positif. Ion lithium tersebut kemudian bergerak menuju material aktif anoda melalui larutan elektrolit dan



elektron bergerak ke anoda melewati rangkaian luar (Hikmah, 2019). Proses tersebut disebut dengan interkalasi ion lithium atau pengisian muatan (*charging*). Proses pelepasan muatan (*discharging*) memiliki mekanisme yang sama dengan proses pengisian tetapi dengan arah gerak ion lithium dan elektron kebalikan dari proses pengisian.

### 2.2.1 Anoda

Anoda adalah elektroda negatif yang bertindak sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi serta berkumpulnya ion lithium saat awal sebelum digunakan. Banyaknya ion lithium yang berkumpul pada anoda dapat menjadi penentu kapasitas suatu baterai (Winslow, dkk., 2018). Anoda juga sebagai tempat material aktif dimana lembaran tembaga digunakan sebagai lembaran pada anoda. Bahan untuk pembuatan anoda terdiri dari material aktif, *binder*, zat aditif (*carbon black*), dan pelarut. *Carbon black* digunakan untuk meningkatkan konduktivitas elektrik diantara material aktif (Fransson, dkk., 2001). *Binder* berfungsi sebagai bahan pengikat antara material aktif dan material konduktif di dalam anoda.



Gambar 2.4 Proses discharge pada anoda (Liu, dkk., 2007)

Reaksi oksidasi pada anoda berhubungan dengan proses pelepasan ion lithium atau *discharge*. Mekanisme proses *discharge* dijelaskan pada Gambar 2.4. (A) ion lithium bermuatan

positif datang dari katoda menuju anoda melalui larutan elektrolit. (B) jalur elektron di dalam *binder* menuju material aktif. (C) transfer ion lithium dari elektrolit menuju permukaan material aktif. (D) transfer elektron dari *binder* menuju permukaan material aktif (Liu, dkk., 2007).

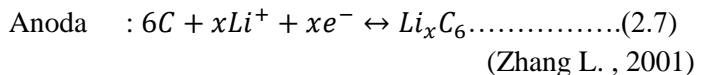
Anoda yang ideal sebaiknya memiliki kapasitas reversibel gravimetrik dan volumetrik yang tinggi, potensial yang rendah dibanding material katoda, siklus hidup yang panjang, dan murah (Lu, dkk., 2018). Performa anoda dipengaruhi oleh banyak faktor salah satunya adalah pemilihan bahan seperti material aktif dan *binder*. Pemilihan *binder* didasarkan pada 3 faktor berikut yaitu: (1) stabilitas antara material aktif dan bahan aditif yang dihasilkan saat pembuatan *slurry* anoda dimana hal ini mempengaruhi struktur dari anoda, (2) konduktivitas elektronik dan ionik dari *slurry* anoda, (3) sifat mekanik seperti kohesi dan adhesi dengan kolektor listrik (Prasanna, dkk., 2015).

Bahan yang pertama kali digunakan sebagai material aktif anoda adalah logam lithium. Logam lithium digunakan sebagai material anoda baterai ion lithium primer di tahun 1960an (Loeffler, dkk., 2015). Tabel 2.1 memberikan contoh beberapa material anoda yang pernah digunakan dengan kapasitas energinya.

Tabel 2.1 Material yang pernah digunakan untuk anoda (Gritzner dan Kreysa, 1993)

Anoda	Beda Potensial Rata-Rata (V)	Kapasitas Spesifik (mAh/g)
Grafit ( $\text{LiC}_6$ )	0,1-0,2	372
Titanat ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ )	1-2	160
Si( $\text{Li}_4,4\text{Si}$ )	0,5-1	4212
Ge( $\text{Li}_4,4\text{Ge}$ )	0,7-1,2	1624

Pada umumnya grafit digunakan sebagai bahan untuk anoda (Winslow, dkk., 2018). Hal ini dipengaruhi oleh kemampuan ekspansi yang rendah selama penyisipan ion lithium. Kemampuan ini menyebabkan grafit mampu mempertahankan kapasitas pengisian muatannya setelah beberapa kali siklus *CD* (De Las Casas dan Li, 2012). Bahan lain yang dapat dipakai sebagai pengganti grafit adalah lithium titanat. Bahan ini memiliki energi densitas yang lebih kecil dan siklus hidup yang lebih lama dibandingkan grafit (Heelan, dkk., 2016). Reaksi yang terjadi di grafit ditunjukkan oleh persamaan 2.7.



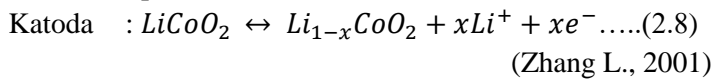
### 2.2.2 Katoda

Katoda merupakan elektroda positif (Subhan, 2001).. Katoda menggunakan aluminium sebagai lemarannya. Kandungan bahan katoda berupa bubuk oksida logam sebanyak 80-85% , *polyvinylidene fluoride binder* sebanyak 10% sebagai bahan pengikat dan 5% *acetylene black* (Chagnes dan Pospiech, 2013). Fungsi katoda sama dengan anoda yaitu tempat berkumpulnya ion lithium. Ion lithium yang datang dari anoda akan berkumpul pada katoda pada proses *discharge*. Pada proses ini juga terjadi reaksi reduksi pada katoda yang disebabkan oleh datangnya elektron dari anoda (Heidari, dkk., 2018).

Performa katoda dipengaruhi oleh struktur mikro dan morfologi dari elektroda. hal ini dikarenakan proses bertukarnya ion lithium hanya terjadi diantara elektrolit dan katoda. Katoda bertindak seperti rumah dimana ion lithium dapat bergerak masuk dan keluar saat proses interkalasi/deinterkalasi (Nitta, dkk., 2015).

Katoda yang baik harus memiliki kristalinitas yang tinggi melebihi rentang komposisinya. Oksida logam yang digunakan untuk katoda harus mampu melepaskan ion lithium saat proses

pengisian dan menarik ion lithium saat proses pelepasan (Sony, 2009). Tabel 2.2 memberikan contoh beberapa oksida logam yang pernah digunakan untuk katoda beserta kapasitas spesifiknya.  $\text{LiCoO}_2$  adalah salah satu bahan yang paling sering digunakan untuk katoda baterai ion lithium (Xia, dkk., 2007). Bahan ini memiliki kapasitas spesifik hingga 140 mAh/g dan siklus hidup yang panjang, tetapi beracun dan cukup mahal karena adanya logam kobalt (Ritchie, 2001). Reaksi yang terjadi pada katoda ditunjukkan oleh persamaan 2.8.



Tabel 2.2 Material yang pernah digunakan untuk katoda (Gritzner dan Kreysa, 1993)

Katoda	Beda Potensial Rata-Rata (V)	Kapasitas Spesifik (mAh/g)
$\text{LiCoO}_2$	3,7	140
$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	4,0	100
$\text{LiNiO}_2$	3,5	180
$\text{LiFePO}_4$	3,3	150
$\text{LiCo}_{1/2}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$	3,6	160

### 2.2.3 Elektrolit

Elektrolit berfungsi sebagai media perantara ion lithium melakukan difusi antar elektroda (Zeng, dkk., 2014). Elektrolit pada baterai ion lithium dibedakan menjadi dua jenis yaitu padat dan cair. Elektrolit padat yang pernah diteliti yaitu NASICON, garnet, peroskit, LISICON, LiPON, Li3N, dan lain-lain (Zheng, dkk., 2018) sedangkan elektrolit cair yang sering digunakan yaitu  $\text{LiPF}_6$ ,  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{LiAsF}_6$ ,  $\text{Li}(\text{CF}_3\text{SO}_3)$ ,  $\text{Li}[\text{N}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2]$ , dan lain-lain (Winslow, dkk., 2018).

Kandungan elektrolit terdiri atas garam lithium, pelarut dan zat aditif. Zat aditif ditambahkan untuk mengoptimalkan kerjanya. Zat aditif dikategorikan menjadi 6 jenis yaitu pembentuk elektrolit padat, agen pelindung katoda, agen untuk menstabilkan garam  $\text{LiPF}_6$ , agen pelindung, agen untuk meningkatkan proses desposisi ion lithium dan agen lain seperti penghambat korosi Al dan zat pembersih (Zhang S. S., 2006).

Pelarut pada elektrolit harus bersifat aprotik, memiliki polaritas yang tinggi dan konduktivitas ionik yang tinggi (Zhang L., 2001). Sifat lain yang perlu dimiliki pelarut tersebut yaitu viskositas yang rendah agar ion lithium dapat bergerak dengan mudah (Ginting, 2017). Beberapa jenis pelarut yang umum digunakan yaitu Propilen Carbonat (PC), Etil Carbonat (EC), dan Dimetil Sulfoksida (DMSO). Larutan pelarut dapat terdiri dari satu atau campuran dari beberapa pelarut di atas (Zheng, dkk., 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh Ding dkk. pada tahun 2014 menunjukkan kapasitas yang diperoleh elektrolit cair berbahan garam  $\text{LiPF}_6$  dengan pelarut PC sekitar 350 mAh/g dan pelarut PC:EC=1:1 sekitar 325 mAh/g (Ding, dkk., 2014). Kimura dkk. melakukan penelitian tentang elektrolit padat berbahan garam LiFSI dan berbagai pelarut organik pada tahun 2016. Elektrolit berbahan pelarut polietilen oksida dan garam LiFSI dengan konsentrasi 80% memiliki kapasitansi sebesar 120-130 mAh/g. Elektrolit LiFSI dengan pelarut polietilen oksida:etilen oksida=89:11 memiliki kapasitansi sebesar 50-60 mAh/g (Kimura, dkk., 2016).

#### **2.2.4 Separator**

Separator berfungsi sebagai membran polimer tipis diantara kedua elektroda dimana melalui porinya ion lithium dapat melewatinya (Chagnes dan Pospiech, 2013). Fungsi lain dari separator yaitu mencegah adanya arus listrik pendek akibat kontak langsung antara katoda dan anoda (Heelan, dkk., 2016). Separator

terbentuk dari struktur berlapis polietilen dan polipropilen, dan elektrolit (Zeng, dkk., 2014).

### **2.3 Karbon sebagai Material Anoda pada Baterai Ion Lithium**

Karbon pertama kali ditemukan dapat digunakan sebagai bahan anoda pada tahun 1990 oleh perusahaan Sony Corporation (Fauteux dan Koksbang, 1993). Terdapat beberapa jenis karbon yang pernah digunakan sebagai bahan anoda yaitu *soft carbon*, *hard carbon*, dan grafit (Sony, 2009).

#### **2.3.1 Soft Carbon**

*Soft Carbon* adalah salah satu jenis karbon yang dapat digunakan sebagai material penyimpanan energi. Struktur *soft carbon* terdiri atas daerah regangan tinggi dan daerah regangan rendah dimana regangan tinggi memiliki struktur karbon yang tidak teratur sedangkan regangan rendah berstruktur seperti grafit. Hal ini yang menyebabkan *Soft Carbon* memiliki kristalinitas yang lebih tinggi dibanding *Hard Carbon* (Cao, dkk., 2016). Struktur *Soft Carbon* ditunjukkan oleh Gambar 2.5.

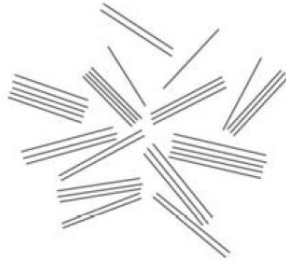


Gambar 2.5 Struktur dari Soft Carbon (Loeffler, dkk., 2015)

#### **2.3.2 Hard Carbon**

*Hard Carbon* merupakan salah satu jenis karbon yang berasal dari proses pirolisis polimer seperti resin fenolik, resin epoksi dan lain-lain (Khosravi, dkk., 2014). *Hard Carbon* memiliki struktur yang tidak teratur, jarak *interlayer* yang lebih

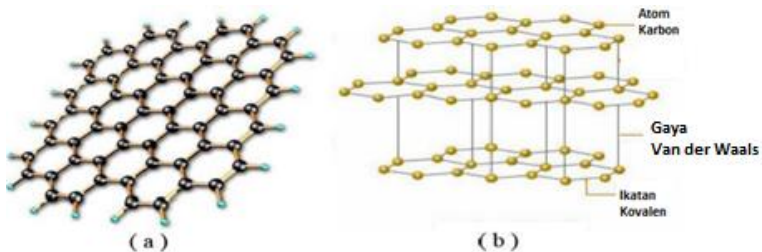
besar dibanding grafit dan *soft carbon* serta kemampuan pengisian dan pelepasan muatan yang baik (Sony, 2009). Gambar 2.6 menunjukkan struktur dari *hard carbon*. Penelitian yang dilakukan oleh Khosravi dkk menunjukkan kapasitas maksimal dari *hard carbon* yang diteliti sebesar  $600 \text{ mAhg}^{-1}$  (Khosravi, dkk., 2014).



Gambar 2.6 Struktur dari Hard Carbon (Loeffler, dkk., 2015)

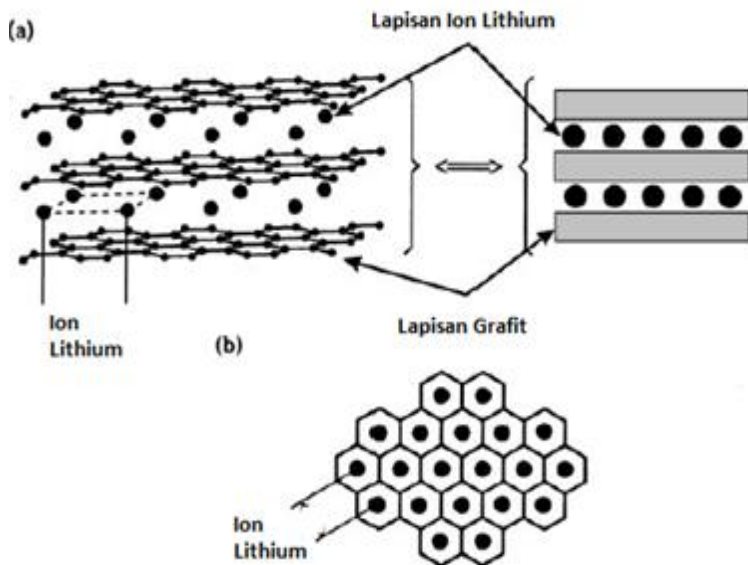
### 2.3.3 Grafit

Grafit merupakan karbon yang memiliki struktur kristal dan tersusun atas atom karbon yang membentuk 3 dimensi (Gambar 2.7) (Buchmann, 2001). Terdapat 2 jenis grafit yaitu grafit alami dan grafit sintesis. Grafit alami terbentuk saat karbon mengalami pemanasan pada suhu sekitar  $750^{\circ}\text{C}$  di lapisan mantal atas dan kerak bumi (King, 2019). Sedangkan grafit sintesis diperoleh dengan memanaskan *soft carbon* pada suhu  $3000^{\circ}\text{C}$  (Zheng dan Dahn, 1999). Namun grafit sintesis memiliki struktur kristal yang masih amorf dan mahal untuk dibuat (Yoshio, dkk., 2009).



Gambar 2.7 (a) Struktur Hexagonal dari Grafit, (b) Struktur Grafit secara 3 dimensi (Buchmann, 2001)

Grafrit tersusun atas kumpulan lapisan hexagonal dari karbon dimana setiap lapisan dihubungkan oleh gaya Van der Waals. kekuatan ikatan antar karbon pada lapisan yang sama lebih kuat dibandingkan ikatan karbon pada lapisan berbeda. Perbedaan kekuatan ini menyebabkan terjadinya proses interkalasi atau penyisipan ion  $\text{Li}^+$  di antara lapisan grafit (De Las Casas dan Li, 2012). Proses interkalasi ditunjukkan oleh Gambar 2.8.



Gambar 2.8 (a) Proses Interkalasi pada Antar Lapisan Hexagonal, (b) Proses Interkalasi pada Lapisan Hexagonal (Zhang L., 2001)

#### 2.4 *Solid-Electrolyte Interphase (SEI)*

*Solid-Electrolyte Interphase (SEI)* adalah lapisan yang terbentuk pada elektroda negatif (anoda) baterai ion lithium. Lapisan SEI dihasilkan oleh penumpukan produk dari proses dekomposisi larutan elektrolit yang bersifat ireversibel. Lapisan ini bersifat pasif dan padat serta berada di permukaan material aktif (Pinson dan Bazant, 2013). Akibat dari terbentuknya lapisan ini yaitu kapasitas baterai akan menurun seiring dengan



pemakaiannya karena proses interkalasi dan deinterkalasi ion lithium antara material aktif dan elektrolit terhalangi (Palacin, 2009).

## 2.5 Penelitian Sebelumnya

Xiang dkk. mematenkan penelitiannya yang berjudul “*Detecting method of specific capacity of negative electrode material of lithium battery after circulation*” pada tahun 2010. Penelitian tersebut bertujuan mengetahui kapasitas spesifik dari grafit LIB bekas yang telah digunakan dalam berbagai siklus dan kemudian didaur ulang untuk dibentuk menjadi anoda kembali. Proses daur ulang pada penelitian ini yaitu: 1) LIB bekas yang telah digunakan sampai siklus tertentu, dibongkar dan hanya diambil anodanya saja; 2) anoda dicuci menggunakan dimetil karbonat dan dikeringkan pada suhu 85-100°C; 3) anoda direndam dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 1-10% untuk memisahkan material anoda dari lembaran Cu; 4) material anoda dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kemudian dicuci menggunakan aqua DM hingga pH menjadi 6-7 lalu dikeringkan dan digerus; 5) material anoda dibentuk menjadi anoda kembali untuk dirangkai menjadi LIB. Hasil penelitian menunjukkan sampel material anoda dari LIB bekas yang telah digunakan hingga siklus tertentu memiliki kapasitansi spesifik yang mendekati kapasitansi grafit murni (China Patent No. CN102610792-A, 2012).

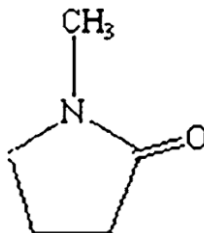
Penelitian yang dilakukan oleh Rothermel dkk. pada tahun 2016 bertujuan membandingkan tiga metode daur ulang grafit dari anoda LIB bekas. Metode pertama yaitu mendaur ulang grafit menggunakan perlakuan panas pada rentang suhu 400-600°C tanpa memisahkan elektrolitnya. Metode yang kedua yaitu mengekstrak elektrolit pada kondisi subkritis karbon dioksida dengan pelarut asetonitril yang diikuti oleh perlakuan panas. Metode yang terakhir yaitu mengekstrak elektrolit menggunakan kondisi superkritis karbon dioksida serta diikuti oleh perlakuan panas. Hasil penelitian menunjukkan grafit dengan metode daur

ulang kedua memiliki sifat elektrokimia paling baik dengan kapasitas *discharge* sebesar 379,9 mAh/g di siklus ke-50nya (Rothermel, dkk., 2016).

## 2.6 Sifat Bahan yang digunakan

### 2.6.1 NMP

*N-Metyl-2 Pyrolidone* yang juga dikenal sebagai NMP, *1-Metyl-2-Pyrolidone*, *N-Metyl-Pyrrolidone*, *1-Metyl-2-Pyrrolidinone*. NMP adalah senyawa organik hidroskopis yang berbentuk cair dan berbau seperti amina. Senyawa ini bersifat polar dan dapat secara perlahan teroksidasi oleh udara (Akesson, 2001). Struktur kimia NMP ditunjukkan oleh Gambar 2.9. Pada umumnya NMP dipakai pada industry petrokimia dan plastik, permurnian oli, serta sebagai pelarut polimer untuk polimerisasi (Harreus, dkk., 2011). Sifat fisika dan kimia dari NMP dijelaskan pada Tabel 2.3.



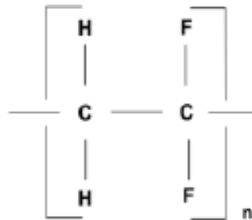
Gambar 2.9 Struktur Kimia dari NMP (Mashak, dkk., 2011)

Tabel 2.3 Sifat fisika dan Kimia dari NMP (Burdick dan Jackson, 2000)

Berat Jenis	99,13 g.mol <sup>-1</sup>
Rumus Empiris	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO
Massa Jenis	1,028 g.cm <sup>-3</sup>
Titik Didih	202-204°C
Titik Lebur	-24,4°C
Titik Nyala	346°C

### 2.6.2 PVDF

*Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) merupakan jenis bahan *fluoropolymer* yang bersifat piezoelektrik (Nugraha, dkk, 2017). Piezoelektrik adalah sifat material yang mampu menimbulkan potensial listrik karena beban mekanis yang diterimanya (Ginting, 2017). PVDF digunakan sebagai bahan perekat pada material elektroda. Struktur kimia dari PVDF ditunjukkan oleh Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Struktur Kimia dari PVDF (Tareev, 1975)

### 2.6.3 Super P

Super P adalah jenis karbon hitam aditif yang digunakan untuk bahan elektroda baterai ion lithium. Super P berfungsi menaikkan konduktivitas elektrik dari material aktif. (Fransson, dkk, 2001). Bahan ini memiliki luas permukaan spesifik yang besar dan konduktivitas listrik yang sangat baik serta dihasilkan melalui proses oksidasi prekursor petroleum (Peng, dkk, 2017). Sifat fisik dan kimia dari Super P dijelaskan pada Tabel 2.4. Gambar Super P ditunjukkan oleh Gambar 2.11.



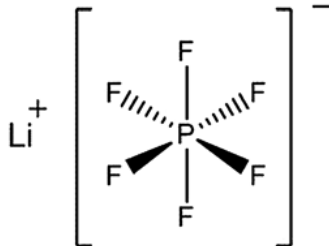
Gambar 2.11 Super P (Aotbattery, 2019)

Tabel 2.4 Sifat Fisik dan Kimia dari Super P (MSDS, 2012)

Bentuk	Padat
Warna	Hitam
Bau	Tidak Berbau
pH	7-10
Densitas	1,8-2 g.cm <sup>3</sup>
Kelarutan di air	Tidak Larut

#### 2.6.4 LiPF<sub>6</sub>

*Lithium Hexafluorophosphate* (LiPF<sub>6</sub>) merupakan salah satu jenis elektrolit cair yang sering digunakan untuk baterai ion lithium. Struktur kimia LiPF<sub>6</sub> ditunjukkan oleh Gambar 2.12 Pada umumnya elektrolit ini mengandung LiPF<sub>6</sub> dengan konsentrasi 1,0-1,2 M (mol.L<sup>-1</sup>) dan pelarut organik (Ginting, 2017). Sifat fisik dan kimia dari LiPF<sub>6</sub> dijelaskan pada Tabel 2.5.

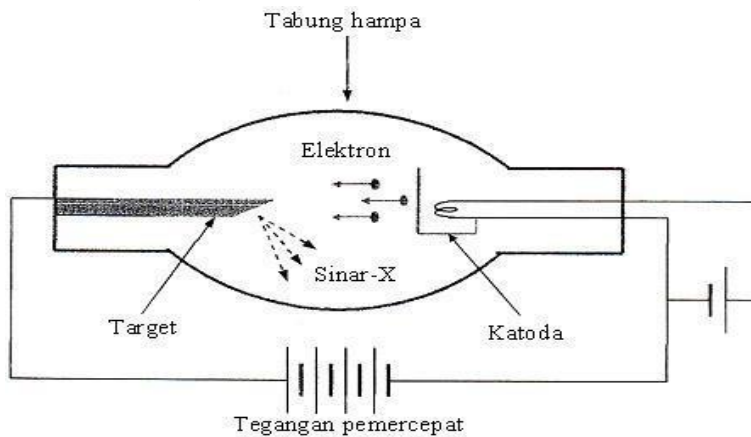
Gambar 2.12 Struktur Kimia dari LiPF<sub>6</sub> (Willgert, dkk., 2014)Tabel 2.5 Sifat Fisik dan Kimia dari LiPF<sub>6</sub> (MSDS No. 94804)

Bentuk	Cairan
Warna	Tidak Berwarna
Bau	Seperti amina
Titik Didih	90-248°C
Titik Lebur	<20°C
Densitas (air)	1,16-1,45g.cm <sup>3</sup>
Kelarutan	Larut dalam alkohol, keton, ester, air

## 2.7 Karakterisasi dan Pengujian

### 2.7.1 X-Ray Diffraction

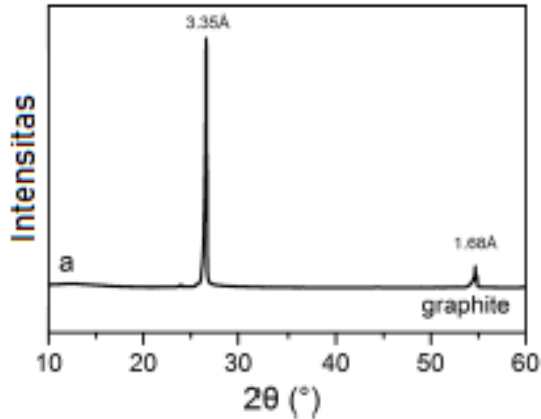
Difraksi sinar *X-ray* merupakan karakterisasi yang memanfaatkan sinar X dengan panjang gelombang 0,5 sampai 2,5Å. Prinsip kerja alat ini seperti yang ditunjukkan Gambar 2.13 adalah filamen panas menginduksi katoda yang dialiri alur listrik. Katoda kemudian menghasilkan elektron yang diarahkan ke sampel. Elektron bergerak cepat menumbuk sampel. Kecepatan menumbuk elektron dipengaruhi oleh beda potensial antara katoda dengan sampel. Sampel yang ditumbuk oleh elektron akan menghasilkan sinar X dengan energi tertentu. Sinar X tersebut ditangkap oleh detektor untuk diolah menjadi kristalografi (Beiser dan Arthur, 1990).



Gambar 2.13 Skema dari alat Difraksi sinar X. (Beiser dan Arthur, 1990)

Karakterisasi XRD dilakukan untuk mendapatkan kristalografi yang kemudian dianalisa untuk mendapatkan informasi material kristal dan strukturnya. Sampel yang diuji dapat berupa serbuk, padatan, film atau pita (Panda, dkk., 2003). Gruzeda dkk melakukan penelitian menggunakan grafit pada tahun 2016. Hasil karakterisasi XRD pada grafit menunjukkan puncak

yang tajam pada  $26,6^\circ$  dan puncak kecil di daerah  $54,8^\circ$ . Spektra XRD dari grafit ditunjukkan oleh Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Spektra XRD standar dari Graphite (Gurzeda, dkk., 2016)

### 2.7.2 Fourier-Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

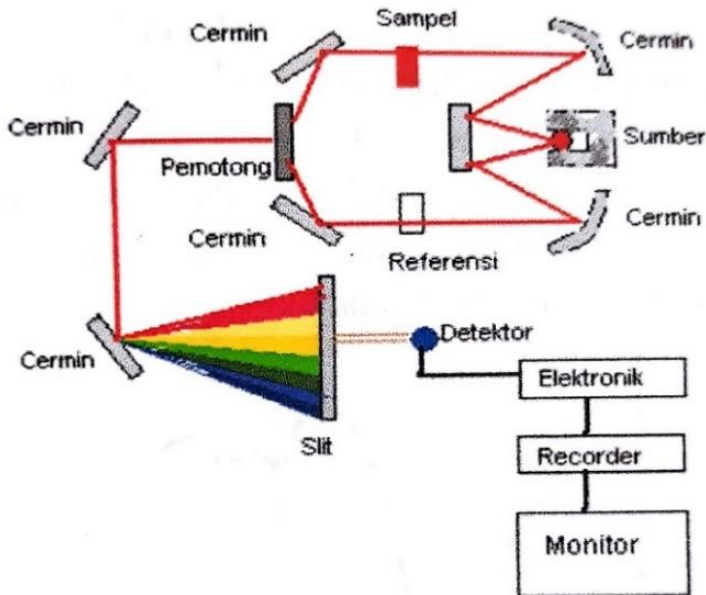
FTIR merupakan karakterisasi untuk menentukan kandungan dari campuran, memperkirakan struktur molekul dan komposisi penyusunnya. Sampel yang digunakan dapat berupa padat, cair dan gas. Untuk sampel padatan dilakukan penambahan serbuk KBr yang berfungsi menurunkan absorbansi senyawa pada sampel. KBr tidak memiliki daerah serapan pada sinar inframerah namun mampu mendispersikan senyawa pada padatan dengan tidak merusak struktur (Leofanti, 1997).

Analisis ini didasari oleh adanya vibrasi yang disebabkan oleh interaksi antara sinar inframerah dengan atom dari gugus fungsi sebuah molekul. Pada kondisi ini akan memunculkan nilai bilangan gelombang yang khas dari setiap molekul suatu sampel (Purnamasari, 2016). Tabel 2.6 menunjukkan nilai bilangan gelombang yang khas dari setiap gugus fungsi.

Tabel 2.6 Daftar gugus fungsi dan bilangan gelombangnya  
(UCLA College Chemistry and Biochemistry, 2019)

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )
O-H (air) <i>stretch</i>	3700-3100
O-H (alkohol) <i>stretch</i>	3600-3200
O-H karboksilat <i>stretch</i>	3600-2500
N-H <i>stretch</i>	3500-3350
$\equiv\text{C}-\text{H}$ <i>stretch</i>	~3300
$=\text{C}-\text{H}$ <i>stretch</i>	3100-3000
$-\text{C}-\text{H}$ <i>stretch</i>	2950-2840
$-\text{C}-\text{H}$ aldehida	2900-2800
$\text{C}\equiv\text{N}$ <i>stretch</i>	~2250
$\text{C}\equiv\text{C}$ <i>stretch</i>	2260-2100
$\text{C}=\text{O}$ aldehida	1740-1720
$\text{C}=\text{O}$ anhidrida	1840-1800, 1780-1740
$\text{C}=\text{O}$ ester	1750-1720
$\text{C}=\text{O}$ keton	1745-1715
$\text{C}=\text{O}$ amida	1700-1500
$\text{C}=\text{O}$ alkena	1680-1600
$\text{C}=\text{C}$ aromatic	1600-1400
$\text{CH}_2$ <i>bend</i>	1480-1440
$\text{CH}_3$ <i>bend</i>	1465-1440, 1390-1365
$\text{C}-\text{O}-\text{C}$ <i>stretch</i>	1250-1050
$\text{C}-\text{OH}$ <i>stretch</i>	1200-1020
$\text{NO}_2$ <i>stretch</i>	1600-1500 dan 1400-1300
C-F	1400-1000
C-Cl	800-600
C-Br	750-500
C-I	~500

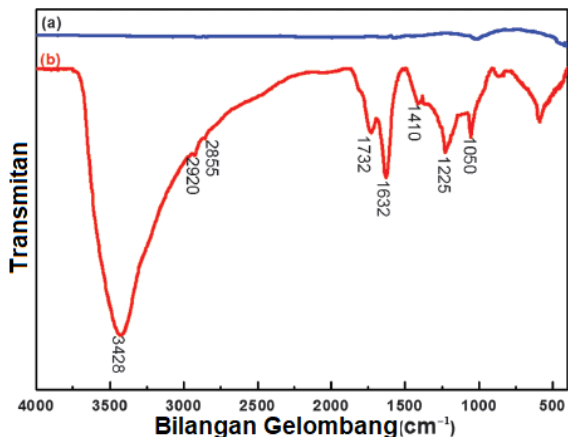
Komponen FTIR terdiri atas sumber radiasi, wadah sampel, monokromator, detektor dan recorder (Setiabudi, dkk., 2012). Komponen FTIR dijelaskan oleh Gambar 2.15. Karakterisasi FTIR dilakukan pada rentang bilangan gelombang sinar inframerah yaitu  $4000-200\text{ cm}^{-1}$ . Radiasi dari sinar inframerah dengan frekuensi tertentu yang diarahkan ke sampel uji akan mengalami penyerapan frekuensi oleh senyawa. Frekuensi yang tidak terserap kemudian terbaca oleh detektor. Jumlah frekuensi yang terserap oleh sampel diukur sebagai persen transmittan kemudian diubah menjadi spektra FTIR (Dachriyanus, 2004).



Gambar 2.15 Skema FTIR (Kroschwitz, 1990)

Hasil pengujian akan dinyatakan dalam bentuk spectra FTIR dimana sumbu x merupakan bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ) dan sumbu y merupakan transmittan (%). Bera dkk. melakukan penelitian menggunakan grafit dan oksida grafit. Hasil karakterisasi untuk kedua senyawa ditunjukkan oleh Gambar 2.16.

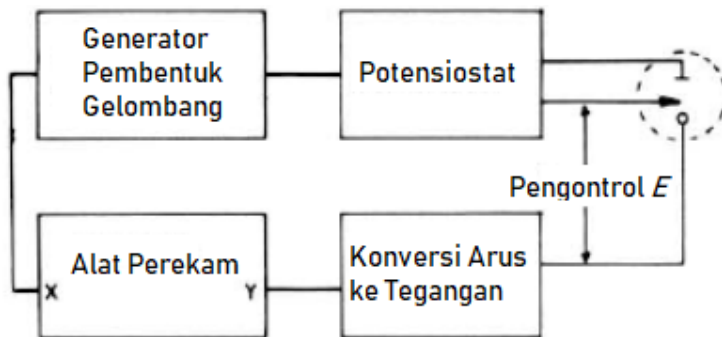




Gambar 2.16 Spektra FTIR dari (a) Grafit dan (b) Oksida Grafit (Bera, dkk., 2018)

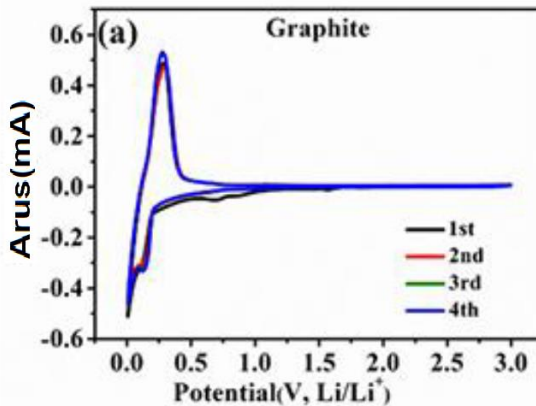
### 2.7.3 Cyclic Voltammetry (CV)

*Cyclic Voltammetry* merupakan teknik elektrokimia yang paling populer digunakan untuk mengetahui proses reduksi dan oksidasi dari suatu bahan molekuler. CV juga dapat dipakai untuk mempelajari reaksi kimia yang terjadi karena adanya transfer elektron ataupun katalis (Elgishi, et al., 2018). Alat ini terdiri dari *Waveform Generator*, *Potensiostat*, *Recorder*, dan *Current Voltage Converter* seperti yang ditunjukkan Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Skema alat dari CV (Kissinger dan Heineman, 1983)

Pengukuran menggunakan alat ini akan menghasilkan sebuah voltamogram. Pada voltamogram sumbu x mewakili potensial (E) yang diberikan kepada sampel. Sumbu y mewakili respon dari sampel terhadap potensial yang diberikan berupa arus (I) dihasilkan (Elgishi, dkk., 2018). Dari kedua sumbu tersebut akan didapatkan potensial puncak dan arus puncak untuk katoda dan anoda. Wang dkk. telah melakukan penelitian menggunakan grafit murni. Hasil pengujian menggunakan siklik voltametri menunjukkan posisi puncak anodik berada di sekitar 0,25 V. Voltamogram dari grafit murni ditunjukkan oleh Gambar 2.18.

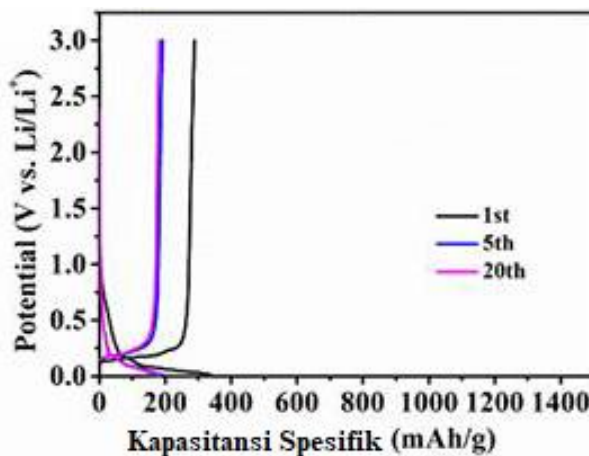


Gambar 2.18 Voltamogram CV dari Grafit (Wang, dkk., 2018)

#### 2.7.4 Charge-Discharge (CD)

Pengujian *Charge-Discharge* (CD) bertujuan untuk mengetahui umur pakai baterai dengan mengevaluasi siklus pengisian dan pengosongan muatan hingga performanya memburuk. Pada metode ini, arus yang dimasukkan ke elektroda kerja akan diukur dan dibandingkan dengan elektroda referen dalam fungsi waktu. Saat arus dimasukkan, potensial yang diukur akan berubah cepat karena reaktan bergerak menyebar ke seluruh elektroda dan konsentrasinya habis pada permukaan elektroda (Jain dan Tripathi, 2014).

Hasil pengujian berupa nilai kapasitas dari sel baterai. Kapasitas baterai merupakan kemampuan baterai dalam menyimpan muatan. Pada kondisi tertentu kemampuan tersebut dapat berbeda dengan kapasitas nominalnya, hal ini dipengaruhi oleh kondisi sel, parameter pengujian CD dan suhu (Hikmah, 2019). Satuan kapasitas yaitu *Ampere hours* (Ah/g) dimana waktu dalam jam yang dibutuhkan baterai untuk mengalirkan arus terus-menerus (Aditya, 2016). Penelitian tentang grafit menggunakan pengujian *CD* telah dilakukan oleh Wang dkk pada tahun 2018. Hasil pengujian CD dari grafit murni ditunjukkan oleh Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Hasil CD dari Grafit (Wang, dkk., 2018)

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB III METODOLOGI PERCOBAAN**

### **3.1 Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### **3.1.1 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain alat gelas, alat *X-Ray Powder Diffraction (XRD)*, *Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)*, *Doctor Blade*, *Vacuum Oven*, *Glove Box*, *CV* dan *CD* (CV, CD: WonATech WBCS3000 Korea).

#### **3.1.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya Baterai Ion Lithium Baru dari perangkat laptop ASUS, Baterai Ion Lithium Bekas dari perangkat laptop ASUS, Grafit dari WS Fisika LIPI, *Polyvinylidene Fluoride (PVDF)* dari Kinar Flex 28001-00, *N-Methyl Pyrrolidone (NMP)* dari Merck, *Carbon Black* dari Gellon, *Cu-Foil* dari TOB Machine,  $\text{LiPF}_6$  dari China, separator dari TOB Machine, *Li-foil* dari WS Fisika LIPI, *Coin Cell* dari TOB Machine.

### **3.2 Prosedur Kerja**

Prosedur kerja yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### **3.2.1 Preparasi Sampel**

Sampel yang digunakan adalah baterai ion lithium bekas dan baru. Kedua baterai dibuka terlebih dahulu lapisan logam dan plastiknya. Bagian dalam baterai yang berisi lembaran katoda, *separator*, dan anoda dipisahkan untuk diambil bagian anoda. Material anoda kemudian dilepaskan dari *Cu-foil* menggunakan sendok besi. Material yang didapat dihaluskan menggunakan mortar dan alu lalu disimpan dalam plastik serta diberi nama.

### 3.2.2 Pembuatan Variasi Penambahan Grafit

Variasi penambahan grafit yang digunakan yaitu 0%, dan 5%. Pada variasi penambahan 5% grafit dari berat sampel, grafit ditimbang seberat 0,05 gram. Kemudian dicampur dengan 1 gram sampel menggunakan mortar dan alu. Hasil pencampuran lalu diambil 1 gram untuk dibuat menjadi lembaran anoda.

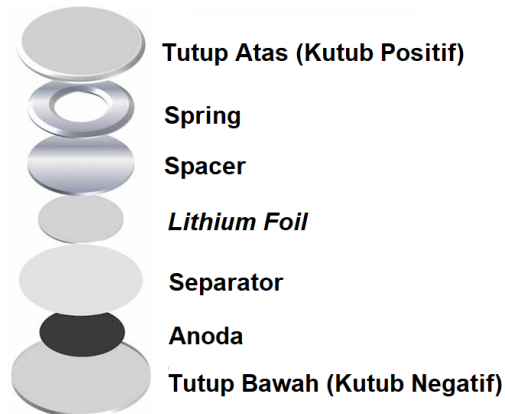
### 3.2.3 Pembuatan Lembaran Anoda

Pembuatan lembaran anoda baru dimulai dengan pembuatan bubur anoda (*slurry*). Bahan bubur anoda terdiri atas 2 mL NMP (*N-methyl pyrrolidone*); 0,1176 gram padatan PVDF; 0,0588 gram super P dan 1 gram sampel anoda. PVDF dilarutkan dengan NMP hingga homogen. Selanjutnya Super P ditambahkan ke dalam campuran dan diaduk. Terakhir dimasukkan sampel anoda dan diaduk selama 30 menit.

Kekentalan bubur diatur dengan menambahkan kembali NMP ke dalam campuran. Bubur anoda kemudian dilapiskan di atas lembaran tembaga (*Cu-foil*) menggunakan *doctor blade*. Lembaran tembaga yang telah terlapisi dikeringkan pada suhu 80°C dan disimpan dalam oven vakum pada suhu 50°C. Sebelum dirangkai, lembaran anoda dipotong lingkaran dengan diameter 16 mm.

### 3.2.4 Perangkaian Koin Sel

Koin Sel terdiri atas wadah koin sel, anoda, separator, katoda, lembaran lithium, *spacer*, *spring*, dan elektrolit berupa  $\text{LiPF}_6$  (*Lithium hexafluorophosphate*). Seluruh bahan dimasukkan ke dalam *glove box* untuk proses perangkaian dengan urutan seperti Gambar 3.1. Penambahan elektrolit dilakukan di atas separator. Koin sel yang telah dirangkai diukur tegangan awal menggunakan potensiometer. Kemudian koin sel dipadatkan menggunakan alat *press* dan diukur kembali tegangannya.



Gambar 3.1 Skema Penyusunan Koin Sel untuk *Half Cell* (Birki, dkk., 2015)

### 3.2.5 Karakterisasi

Sampel material anoda dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Powder Diffraction*) untuk mengetahui struktur kristal. Pengukuran menggunakan *scan step time* 10,15 detik dan sudut  $5 \leq 2\theta \leq 100$  pada 40 kV dan 30 mA. Karakterisasi FTIR pada kedua sampel dilakukan untuk mengetahui perbedaan gugus fungsi dari kedua sampel. Pengujian menggunakan pelet KBr pada panjang gelombang  $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ .

### 3.2.6 Uji Elektrokimia

Koin sel diuji elektrokimia menggunakan siklik voltametri dan *CD*. Pengujian *CV* dilakukan pada *scan rate* 0,1 mV/s yang bertujuan mengetahui nilai potensial sel dari baterai. Kapasitas spesifik baterai diukur menggunakan *CD* pada *scan rate* 0,1 C.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

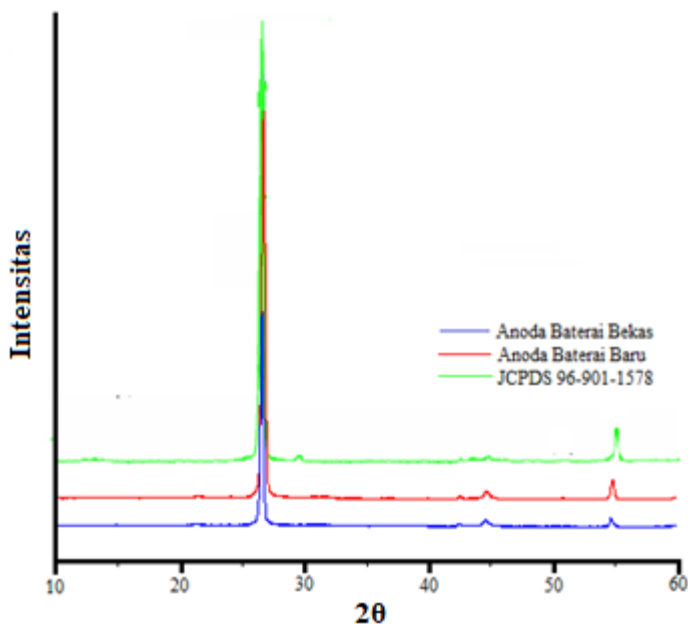


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Uji Material Anoda

#### 4.1.1 Karakterisasi Difraksi Sinar X-ray

Material anoda yang didapatkan dari anoda baterai bekas dan baru dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk. Material anoda baru dipakai sebagai pembanding. Spektra XRD material anoda ditunjukkan oleh Gambar 4.1.



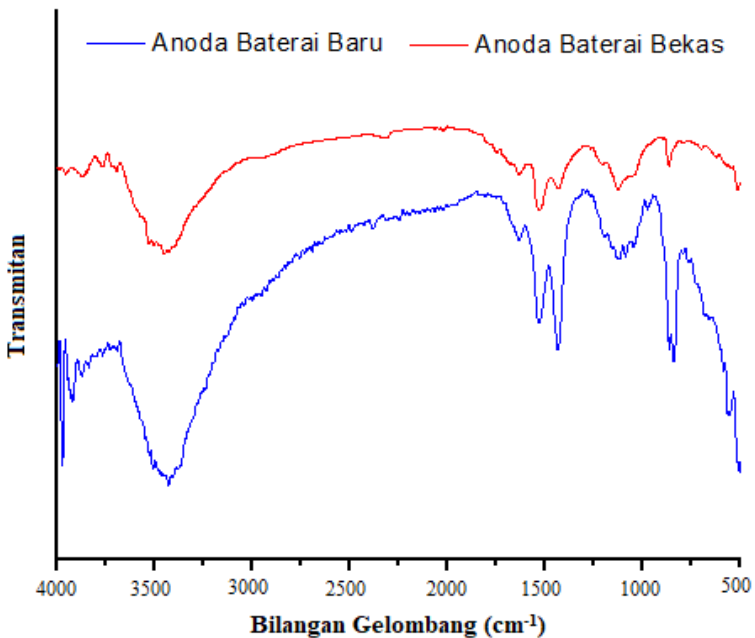
Gambar 4.1 Spektra XRD dari material anoda

Hasil karakterisasi material anoda baterai baru dan bekas menunjukkan struktur kristal cocok dengan JCPDS No. 96-901-1578 dimana dikonfirmasi sebagai struktur grafit. Gambar 4.1 juga menunjukkan spektra anoda bekas dan anoda baru memiliki puncak difraksi yang sama namun dengan intensitas yang berbeda,

sehingga dapat disimpulkan penggunaan baterai tidak merusak struktur dari material anoda.

#### 4.1.2 Karakterisasi FTIR

Karakterisasi FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada material anoda bekas dan baru. Material anoda baru digunakan sebagai pembanding. Spektra FTIR material anoda ditunjukkan oleh Gambar 4.2



Gambar 4.2 Spektra FTIR dari material anoda

Hasil karakterisasi menunjukkan kedua sampel anoda memiliki posisi puncak yang sama namun dengan tinggi yang berbeda. Posisi puncak yang sama dapat diartikan kedua sampel memiliki gugus fungsi yang sama. Hal ini juga membuktikan bahwa tidak terjadi kerusakan struktur pada material anoda bekas

meskipun umur pakainya telah habis. Posisi setiap puncak dari kedua sampel dijelaskan oleh Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Puncak yang terbentuk dari Spektra FTIR

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )		
	Oksida Grafit (Bera, dkk., 2018)	Anoda Baterai Baru	Anoda Baterai Bekas
-OH <i>stretching</i>	3428	3425,69	3443,05
-C=O <i>stretching</i>	1732	1631,83	1629,90
C=C <i>stretching</i>	1632	1531,53	1525,74
O-H <i>bending</i>	1410	1433,16	1429,30
C-O <i>stretching</i> , gugus epoksi	1225	1190,12	1203,62
C-O <i>stretching</i> , gugus aloksi	1050	1047,38	1055,10
C-F		1116,82	1126,47

Puncak-puncak yang teridentifikasi dapat digunakan untuk menentukan jenis gugus fungsi pada material anoda. Hasil analisa menunjukkan puncak dari kedua sampel mirip dengan sampel oksida grafit yang diteliti oleh Bera dkk., meskipun terdapat puncak yang sedikit bergeser seperti puncak *-C=O stretching*, *C=C stretching* dan *C-O stretching* (epoksi).

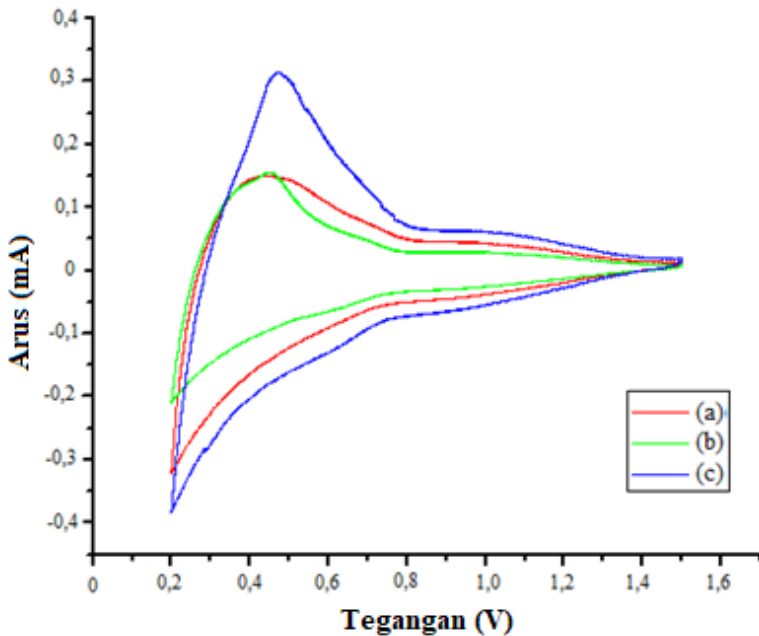
Hasil karakterisasi XRD menunjukkan material anoda merupakan grafit, sedangkan untuk karakterisasi FTIR material berupa oksida grafit. Perbedaan ini disebabkan oleh masih adanya sisa *binder* dan pelarut pada material anoda. Hal ini dibuktikan dengan adanya puncak lain selain puncak-puncak oksida grafit pada spektra FTIR. Puncak tersebut muncul pada bilangan

gelombang 1116,82 untuk anoda baru dan 1126,47 untuk anoda bekas dimana merupakan gugus fungsi C-F yang berasal dari *binder* PVDF.

## 4.2 Uji Performa Baterai

### 4.2.1 Cyclic Voltammetry

Pengukuran menggunakan CV bertujuan mengetahui proses reduksi-oksidasi yang terjadi pada material anoda. Pengukuran dilakukan pada baterai setengah sel dari material anoda baru, anoda bekas, anoda bekas dengan variasi penambahan grafit. Rentang potensial diatur pada 0,2-1,5V dengan *scan rate* pada 0,1 mV/s. Hasil pengukuran dari semua sampel ditunjukkan oleh Gambar 4.3 dan Tabel 4.2.



Gambar 4.3 Voltamogram (a) anoda baru ; (b) anoda bekas ; (c) anoda bekas+5% grafit

Tabel 4.2 Hasil pengukuran CV untuk semua sampel

Sampel	$I_{pa}$ (mA)	$V_{pa}$ (V)
An. Baru	0,149	0,438
An. Bekas 0%	0,155	0,446
An. Bekas 5%	0,314	0,474

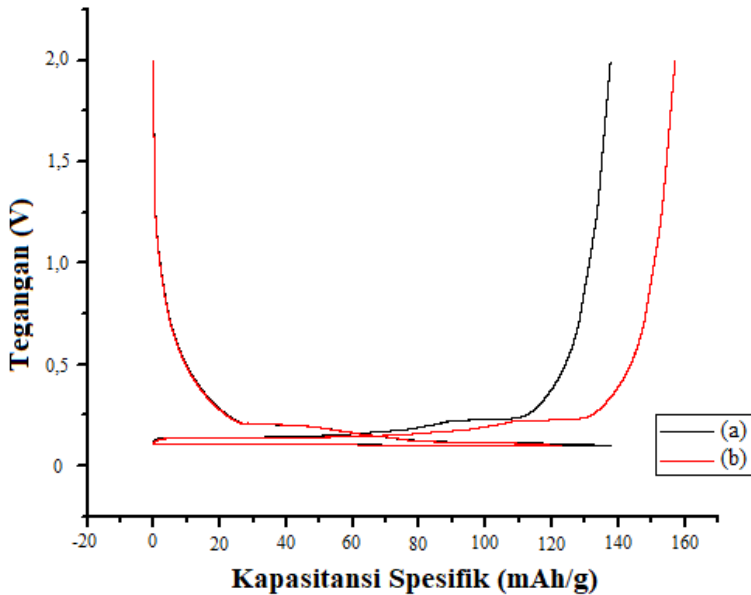
Hasil pengukuran menunjukkan terbentuk puncak anodik pada semua sampel. Hal ini membuktikan bahwa terjadi reaksi oksidasi dan material anoda bekas masih dapat bekerja. Posisi puncak anodik sama dengan voltamogram grafit murni dari penelitian Wang dkk. pada tahun 2018 yaitu sekitar 0-0,5 V. Tabel 4.2 menunjukkan nilai arus dan tegangan puncak anoda bekas lebih tinggi dibandingkan anoda baru. Penambahan sebesar 5% grafit dari berat sampel menyebabkan sampel memiliki arus puncak yang lebih besar daripada sampel tanpa penambahan.

#### 4.2.2 Charge-Discharge

Pengujian *charging-discharging* bertujuan mengetahui kapasitansi spesifik dari material yang diuji. Kapasitansi spesifik diperoleh dengan membagi hasil uji berupa kapasitansi dengan massa material aktif. Pengujian dilakukan pada arus 0,1 mV/s dan *scan rate* 0.1 C. Hasil pengujian ditunjukkan oleh Gambar 4.4 dan Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Massa Material aktif dan Kapasitansi Spesifik untuk Semua Sampel

Sampel	Massa Material	Kapasitansi Charging (mAh/g)	Kapasitansi Discharging (mAh/g)	Efisiensi Kerja Baterai
An. Bekas	0,01	137,611	137,695	100%
An. Bekas + 5% grafit	0,03	157,016	122,643	78%



Gambar 4.4 Kurva CD untuk (a) anoda bekas ; (b) anoda bekas+5% grafit dari berat sampel

Hasil pengujian didapatkan anoda bekas tanpa penambahan memiliki kapasitas spesifik *charging* sebesar 137,611 mAh/g, dan kapasitas *discharging* sebesar 137,695 mAh/g sedangkan anoda dengan penambahan 5% grafit dari berat sampel memiliki kapasitas *charging* sebesar 157,016 mAh/g dan kapasitas *discharging* sebesar 122,643 mAh/g. Penambahan 5% grafit dari total berat sampel dapat menaikkan kapasitas, namun juga menyebabkan terjadinya perbedaan antara kapasitas *charging* dan *discharging*.

Perbedaan kapasitas *charging* dan *discharging* pada penelitian ini disebabkan oleh masih tersisnya pelarut dan binder dari baterai bekas. Adanya sisa pelarut dan binder membuat reaksi pada baterai bersifat irrevesibel sehingga dapat mempercepat

pembentukan lapisan SEI pada anoda. *Solid Electrolyte Interface* (SEI) merupakan lapisan pasif pada permukaan elektroda yang terbentuk dari hasil dekomposisi larutan elektrolit (Deng, dkk., 2013). Hasil dekomposisi dapat berupa  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{LiOH}$ ,  $\text{LiF}$ ,  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{ROCO}_2\text{Li}$ , dan  $\text{RCOLi}$  (Hamidah, dkk., 2018). Adanya SEI mengakibatkan terhalangnya proses interkalasi/deinterkalasi ion lithium antara material aktif dan elektrolit (Palacin, 2009).

Adanya Perbedaan kapasitas *charging* dan *discharging* mengakibatkan performa baterai menurun. anoda bekas dengan tanpa penambahan grafit memiliki performa kerja yang lebih baik daripada dengan penambahan 5% grafit dari total berat sampel. Performa kerja yang baik membuat umur pakai baterai semakin lama.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Material anoda baterai ion lithium bekas berhasil didaur ulang dari baterai laptop bekas menggunakan metode mekanis. Hasil karakterisasi XRD dan FTIR dari material anoda bekas menunjukkan tidak ada perubahan struktur pada material anoda hal ini dibuktikan dengan kemiripan kedua spektra antara anoda baru dan anoda bekas. Pengujian secara elektrokimia dilakukan menggunakan *CV* dan *CD* pada sel baterai. Pengujian menggunakan *CV* didapatkan anoda baru dan bekas memiliki arus dan tegangan puncak anodik yang sama. Penambahan 5% grafit menyebabkan arus puncak anodik semakin tinggi. Baterai anoda bekas tanpa penambahan grafit memiliki performa baterai yang lebih baik dengan efisiensi kerja sebesar 100% dan kapasitansi spesifik sebesar 137,611 mAh/g.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini adalah:

1. Pengujian *CD* dilakukan dengan *Cycle* yang lebih banyak agar dapat mengetahui kestabilan dari baterai yang diuji
2. Perlu adanya penambahan zat adiktif untuk dapat meningkatkan kestabilan dari baterai yang diuji

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

**DAFTAR PUSTAKA**

- Aditya, N. S., 2016, "Analisa Pengaruh Temperatur Hidrotermal pada Proses Sintesis Anoda MnO<sub>2</sub> terhadap Morfologi dan Performa Elektrokimia Baterai Lithium Ion", Skripsi, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Akesson, B., 2001, "Concise International Chemical Assessment Document 35 : N-METHYL-2-PYRROLIDONE, Geneva: World Health Organization.
- Aifantis, K. E., Hackney, S. A., dan Kumar, R. V., 2010, "High Energy density Lithium Batteries", Wiley-VCH.
- <http://www.aotbattery.com/product/Super-P-Conductive-Carbon-Black-for-Li-ion-Battery.html> diakses pada tanggal 20 Mei 2019 pukul 14.05 WIB
- Beiser, dan Arthur., 1990, "Konsep Fisika Modern", Jakarta: Erlangga.
- Bera, M., Chandravati, Maji, P., dan Maji, P. K., 2018, "Facile One-Pot Synthesis of Graphene Oxide by Sonication Assited Mechanochemical Approach and Its Surface Chemistry". *J. Nanosci. Nanotechnol.*, **18**(2):902-912.
- Bernades, A. M., Espinosa, D. C., dan Tenorio, J. A., 2004, " Recycling of Batteries: A Review of Current Processes and Techonologies", *J. Power Sources*, **130**:291-298.
- Birki, C. R., McTruck, E., Roberts, M. R., Bruce, P. G., dan Howey, D. A., 2015, "A Parametric Open Circuit Voltage Model for Lithium Ion Batteries", *J. Electrochem. Soc.*, **162**(12): A2271-A2280.
- Buchmann, I., 2001, "Batteries in a Portable World : A handbook on Rechargeable Batteries for Non-Engineers", Cadex Electronic Inc.
- Burdick, dan Jackson., 2000, "Material Safety Data Sheet N-Methylpyrrolidone", Honeywell.
- Burheim, O. S., 2017, "Secondary Batteries", in Burheim, O. S., "Engineering Energy Storage", Elsevier, pp 111-145.

- Cao, B., Liu, H., Xu, B., Lei, Y., Chen, X., dan Song, H., 2016, "Mesoporous Soft Carbon as an Anode Material for Sodium Ion Batteries with Superior Rate and Cycling Performance", *J. Mater. Chem.*, **4**:6472-6478.
- Chagnes, A., dan Pospiech, B., 2013, "A Brief Review on Hydrometallurgical Technologies for Recycling Spent Lithium-ion Batteries", *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **88**: 1191-1199.
- [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical\\_Chemistry/Supplemental\\_Modules\\_%28Analytical\\_Chemistry%29/Electrochemistry/Exemplars/Commercial\\_Galvanic\\_Cells](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_%28Analytical_Chemistry%29/Electrochemistry/Exemplars/Commercial_Galvanic_Cells)  
diakses pada tanggal 20 Mei 2019 pukul 13.18 WIB
- Crompton, T. P., 2000, "Battery Reference Book", Newnes: Elsevier.
- Dachriyanus, D., 2004, "Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi", Padang: Andalas University Press.
- De Las Casas, C., dan Li, W., 2012, "A Review of Application of Carbon Nanotubes for Lithium Ion Battery Anode Material", *J. Power Sources*, **208**:74-85.
- Deng, J., Wagner, G.J., dan Muller, R.P., 2013, "Phase Field Modeling of Solid Electrolyte Interface Formation in Lithium Ion Batteries", *J. Electrochem. Soc.*, **160**(3):A487-A496.
- Ding, Y., Yun, J., Liu, H., Wan, Z., Shen, M., Zhang, L., Zheng, H., 2014, "A Safe and Superior Propylene Carbonate-Based Electrolyte with High-concentration Li Salt", *Pure Appl. Chem.*, **86**(5):585-591.
- Dingrando, L., 2007, "Chemistry: Matter and Change", New York: Glencoe/McGraw-Hill.
- Elgishi, N., Rountree, K. J., McCarthy, B. D., & Rountree, E. S., 2018, "A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry", *J. Chem. Educ.*, **96**:197-206.
- Enterprise, J., 2010, "Sejarah dan Model Baterai", Jakarta: PT Elex Media Komputindo.

- Eriksson, T., 2001, "LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> as Li-Ion Battery Cathode From Bulk to Electrolyte Interface", Uppsala: Eklundshofs Grafiska AB.
- Fauteux, D., dan Koksang, R., 1993, "Rechargeable Lithium Battery Anodes : Alternatives to Metallic Lithium", *J. App. Electrochem.*, **23**(1):1-10.
- Fransson, L., Eriksson, T., Edstrom, K., Gustafsson, T., dan Thomas, J. O., 2001, "Influence of Carbon Black and Binder on Li-ion Batteries", *J. Power Sources*, **101**:1-9.
- Ginting, N. R., 2017, "Sintesis Lithium Mangan Oksida (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) untuk Katoda Baterai Lithium Ion", Skripsi, Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Gritzner, G., Kreysa, G. 1993. "Nomenclature Symbols and Definitions in Electrochemical Engineering". *J. Pure Appl. Chem.*, **65**:1009-20.
- Gurzeda, B., Florczak, P., Wiesner, M., Kempinski, M., Jurga, S., dan Krawczyk, P., 2016, "Graphene Material Prepared by Thermal Reduction of The Electrochemically Synthesized Graphite Oxide", *RSC Adv.*, **6**:63058-63063.
- Hamidah, N.L., Wang, F.M., dan Nugroho, G., 2018, " The Understanding of Solid Electrolyte Interface (SEI) Formation and Mechanism as The Effect of Fluoro-*o*-phenylenedimaleimide (F-MI) Addictive on Lithium-ion Battery", *Surf. Interface Anal.*, 1-8.
- Harreus, A. L., Backes, R., Eichler, J. O., Feuerhae, R., Jakel, C., Mahn, U., Vogelsang, R., 2011, "2-Pyrrolidone in Ulman's Encyclopedia of Industrial Chemistry", Weinheim: Wiley-VCH.
- Heelan, J., Gratz, E., Zheng, Z., Wang, Q., Chen, M., Apelian, D., dan Wang, Y., 2016, "Current and Prospectove Li-ion Battery Recycling and Recovery Processes", *The Mineral, Metal, dan Materials Society*, **68**(10):2632-2638.
- Heidari, E. K., Gol, A. K., Sohi, M. H., dan Ataie, A., 2018, "Electrode Materials for Lithium Ion Batteries: A Review" *J. Ultrafine Grained Nanostruct Mater.*, **51**(1):1-12.

- Hikmah, A. M., 2019, "Fabrikasi Anoda Baterai Ion Lithium dengan  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai Material Aktif dan Kitosan-PVA sebagai Binder", Thesis, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Jain, A., dan Tripathi, S. K., 2014, "Application of Supercapacitors Biomass Based Activated Charcoal Energy Storage Devices Supercapacitors Versus Battery", Guna, India: Jaypee University of Engineering and Technology.
- Joulie, M., Laucournet, R., dan Billy, E., 2014, "Hydrometallurgical Process for The Recovery of High Value Metals from Spent Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide Based Lithium-ion Batteries", *J. Power Sources*, **247**:551-555.
- Khosravi, M., Bashirpour, N., dan Nematpour, F., 2014, "Synthesis of Hard Carbon as Anode Material for Lithium Ion Battery", *Adv. Mater. Res.*, **829**:922-926.
- Kimura, K., Yajima, M., dan Tominaga, Y., 2016, "A Highly-concentrated Poly(Ethylene Carbonat)-based Electrolyte for All-Solid-State Li Battery Working at Room Temperature", *Electrochem. Commun.*, **66**:46-48
- King, H. M., <https://geology.com/minerals/graphite.shtml> diakses pada tanggal 3 januari 2019 pukul 12.30 WIB
- Kissinger, P. T., dan Heineman, W. R., 1983, "Cyclic Voltammetry", *J. Chem. Educ.*, **60**(9):702.
- chemch, K., dan Taucher-Mautner, W., 2009, "Primary Batteries-Aqueous System: Leclanche and Zinc Carbon", in Kordesch, K., dan Taucher-Mautner, W., "Encyclopedia of Electrochemical Power Sources", Elsevier, pp 43-54.
- Kroschwitz, J., 1990, "Polymer and Characterization and Analysis", Canada: John Wiley and Sons, Inc.
- Leofanti, G., Tozzola, G., Padovan, M., Petrini, G., Bordiga, S., Zecchina, A., 1997, "Catalyst Characterization: Characterization Techniques", *Catal. Today*, **34**(3-4):329-352.
- Li, J., Wang, G., dan Xu, Z., 2016, "Environmentally-friendly Oxygen-free Roasting/wet Magnetic separation

- Technology for In Situ Recycling Cobalt, Lithium Carbonate and Graphite from Spent LiCoO<sub>2</sub>/graphite Lithium Batteries", *J. Hazard. Mater.*, **302**:97-104.
- Li, L., Qliwinsu, W., Zhang, X., Lu, J., Chen, R., Wu, F., dan Amine, K., 2015, "Succinic Acid-based Leaching System: A Sustainable Process for Recovery of Valuable Metals from Spent Li-ion Batteries", *J. Power Sources*, **282**:544-551.
- MSDS No. 94804, "LiPF<sub>6</sub> Electrolyte", California: MTI Corporation.
- MSDS, 2012, "Super P", Ohio: TIMCAL Graphite dan Carbon.
- Liu, G., Zheng, H., Simens, A. S., Minor, A. M., Song, X., dan Battaglia, V. S., 2007, "Optimization of Acetylene Black Conductive Additive and PVDF Composition for High-Power Rechargeable Lithium Cells", *J. Electrochem. Soc.*, **154**(12):A1129-A1134.
- Loeffler, N., Bresser, D., dan Passerini, S., 2015, "Secondary Lithium-ion Battery Anodes: From Frist Commercial Batteries to Recent Research Activities", *Johnson Matthey Technol. Rev.*, **59**(1):34-44.
- Lu, J., Chen, Z., Pan, F., Cul, Y., dan Amine, K., 2018, "High-Performance Anode Material for Rechargeable Lithium-ion Batteries", *Electrochem. Energ. Rev.*, **1**(1):35-53.
- Linden, dan David., 2002, "Handbook of Batteries", New York: McGraw-Hill Inc.ber
- Mashak, A., Mobedi, H., Ziaee, F., dan Nekoomanesh, M., 2011, "The Effect of Aliphatic Esters on the FORMation and Degradation Behavior of PLGA-based In Situ Forming System", *Polym. Bull.*, **66**:1063-1073
- Mishra, D., Kim, D. J., Ralph, D. E., Ahn, J. G., dan Rhee, Y. H., 2008, "Bioleaching of Metals from Spent Lithium Ion Secondary Batteries Using Acidithiobacillus ferrooxidans", *Waste Manage.*, **28**:333-338.
- Nugraha, A., Ardin, M. B., dan Rezani, R., 2017, "Karakterisasi Material Polimer PVDF dengan Polarisasi Permukaan", *Jurnal Rekayasa Mesin*, 135-139.

- Nitta, N., Wu, F., Lee, J. T., dan Yushin, G., 2015, "Li-ion Battery Materials: Present and Future", *Mater. Today*, **18**(5):252-264.
- Ordenez, J., Gago, E.J., dan Girard, A., 2016, "Processes and Technologies for The Recycling and Recovery of Spent Lithium-ion Batteries", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **60**:195-205
- Palacin, M. R., 2009, "Recent Advances in Rechargeable Battery Materials: a Chemist's Perspective", *Chem. Soc. Rev.*, **38**: 2565-2575.
- Panda, R. N., Hsieh, M. F., Chung, R. J., dan Chin, T. S., 2003, "FTIR, XRD, FE-SEM and Solid State NMR Investigation of Carbonate-Containing Hydroxyapatite Nano-particles Synthesized by Hydroxide-precipitation Technique", *J. Phys. Chem. Solids*, **64**:193-199.
- Peng, B., Xu, Y., Wang, X., Shi, X., dan Mulder, F. M., 2017, "The electrochemical Performance of Super P Carbon Black in Reversible Li/Na Ion Uptake", *Sci. China-Phys. Mech. Astron.*, **60**(6)
- Pinson, M. B., dan Bazant, M. Z., 2013. "Theory of SEI Formation in Rechargeable Batteries: Capacity Fade, Accelerated Aging and Lifetime Prediction", *The Electrochem. Soc.*, **160**(2):A243-A250.
- Prasanna, K., Subburaj, T., Jo, Y. N., Lee, W. J., dan Lee, C. W., 2015, "Environment-Friendly Cathodes Using Biopolymer Chitosan with Enhanced Electrochemical Behavior for Use in Lithium Ion Batteries", *Appl. Mater. Interfaces*, **7**:7884-7890.
- Purnamasari, A. P., 2016, "Perbedaan Kristalinitas Pendukung ZSM-5 pada Katalis CaO untuk Reaksi Esterifikasi", Skripsi, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ritchie, A. G., 2001, "Recent Developments and Future Prospects for Lithium Rechargeable Batteries", *J. Power Sources*, **96**:1-4.
- Rothermel, S., Evertz, M., Kasnatchew, J., Qi, X., Grutzke, M., Winter, M., dan Nowak, S., 2016, "Graphite Recycling



- from Spent Lithium Ion Batteries", *Chem. Sus. Chem.*, **9**(24):3472-3484.
- Schmidt-Rohr, K., 2018, "How Batteries Store and Release Energy: Explaining Basic Electrochemistry", *J. Chem. Educ.*, **95**(10):1801-1810.
- Setiabudi, A., Hardian, R., dan Muzakir, A., 2012, "Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia", Bandung:UPI PRESS.
- Shin, S. M., Kim, N. H., Sohn, J. S., Yang, D. H., dan Kim, Y. H., 2005, "Development of a Metal Recovery Process from Lithium Battery Wastes", *Hydrometallurgy*, **79**:172-181.
- Sony Corporation, 2009, "Lithium Ion Rechargeable Batteries", China: Sony Corporation.
- Subhan, A., 2001, "Fabrikasi dan Karakterisasi  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  untuk Bahan Anoda Baterai Lithium Keramik", Thesis, Depok: Universitas Indonesia.
- Tareev, B., 1975, "Physich of Dielectric Material", Moscow: Mir Publisher.
- <http://www.chem.ucla.edu/~bacher/General/30BL/IR/ir.html>  
diakses pada tanggal 18 Mei 2019 pukul 20.37 WIB
- Viswanathan, B., 2017, "Fundamentals of Chemical Conversion Processes and Applications", Elsevier.
- Wang, Q., Liu, X., Xi, H., Yuan, R., dan Zhang, C., 2018, "First Direct Exfoliation and Nitrogen-Doping of Graphite to Graphene via Solid-State Pan Milling for High-Performance Lithium Ion Battery", *Nano Adv.*, **3**(2):27-34.
- Willgert, M., Leijonmarck, S., Lindbergh, G., Malmstrom, E., dan Johansson, M., 2014, "Cellulose Nanofibril Reinforced Composite Electrolytes for Lithium Ion Battery Applications", *J. Mater. Chem.*, **2**:13556-13564.
- Winslow, K. M., Laux, S. J., dan Townsend, T. G., 2018, "A Review On The Growing Concern and Potential Management Strategies of Waste Lithium-ion Batteries", *Conserv. Recycling*, **129**:263-277
- Yoshio, M., Brodd, R. J., dan Kozawa, A., 2009, "Lithium-Ion Batteries", Japan: Springer..

- Xia, H., Meng, Y. S., Lu, L., dan Ceder, G., 2007, "Electrochemical Behavior and Li Diffusion Study of LiCoO<sub>2</sub> Thin Film Electrodes Prepared by PLD", *Adv. Mater. Micro Nano-Systems (AMMNS)*.
- Xiang, D., Wu, M., Xu, J., Guo, J., dan Chen, Y., 2012, *China Patent No. CN102610792-A*.
- Zeng, X., Li, J., dan Singh, N., 2014, "Recycling of Spent Lithium-ion Battery: A Critical Review", *Environ. Sci. Technol.*, **4**(10):1129-1165.
- Zhang, L., 2001, "Batteries, Rechargeable", In K. J. Buschow, R. W. Cahn, M. C. Flemings, B. Ilshner, E. J. Kramer, S. Mahajan, dan P. Veyssiere, "Encyclopedia of Materials : Science and Technology", Elsevier Science Ltd., pp. 463-484.
- Zhang, S. S., 2006, "A Review on Electrolyte Additives for Lithium-ion Batteries", *J. Power Sources*, **162**:1379-1394.
- Zheng, T., dan Dahn, J. R., 1999, "Application of Carbon", In Burchell, T.D., " Lithium-Ion Batteries.", *Carbon Materials for Advanced Technologies*, Oak City: Elsevier Science Ltd., pp. 341-387
- Zheng, X., Zhu, Z., Lin, X., Zhang, Y., He, Y., Cao, H., dan Sun, Z., 2018, "A Mini-Review on Metal Recycling from Spent Lithium Ion Batteries", *Engineering*, **4**(3):361-370.

## LAMPIRAN

### Lampiran A: Skema Kerja

#### 1. Perhitungan

##### a. Komposisi Slurry

Slurry dibuat dengan komposisi perbandingan material

aktif : bahan pengikat : bahan adiktif = 85 : 10 : 5

85% material aktif = 1 gram

10% bahan pengikat =  $\frac{10}{85} \times 1$  gram  
= 0,1176 gram

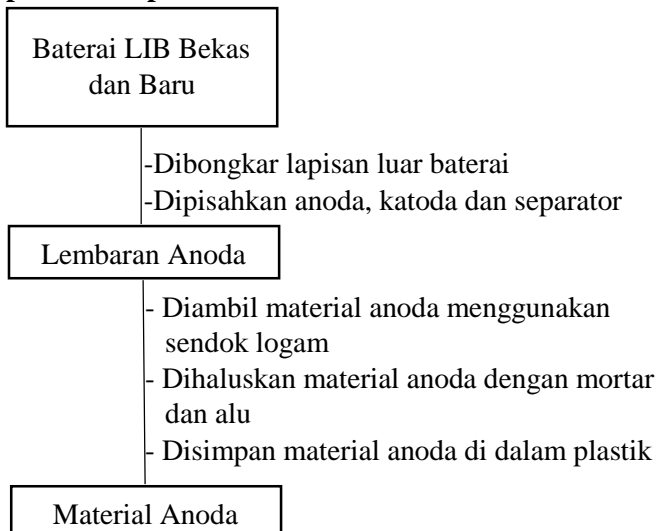
5% bahan adiktif =  $\frac{5}{85} \times 1$  gram  
= 0,058 gram

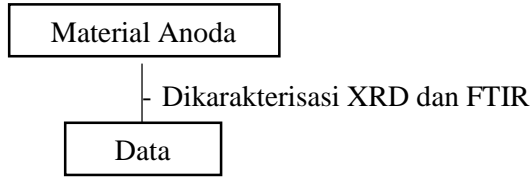
##### b. Penambahan grafit

Sampel dengan variasi penambahan grafit menggunakan sebanyak 5% grafit dari berat sampel

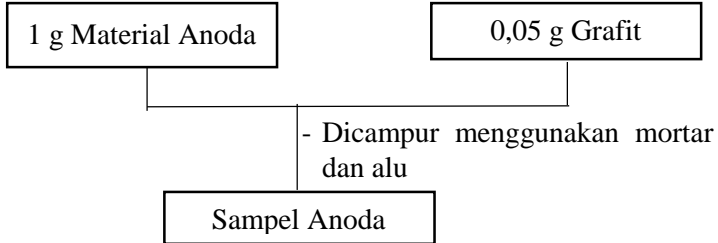
Massa grafit yang ditambahkan =  $\frac{5}{100} \times 1$  gram  
= 0,05 gram

#### 2. Preparasi Sampel

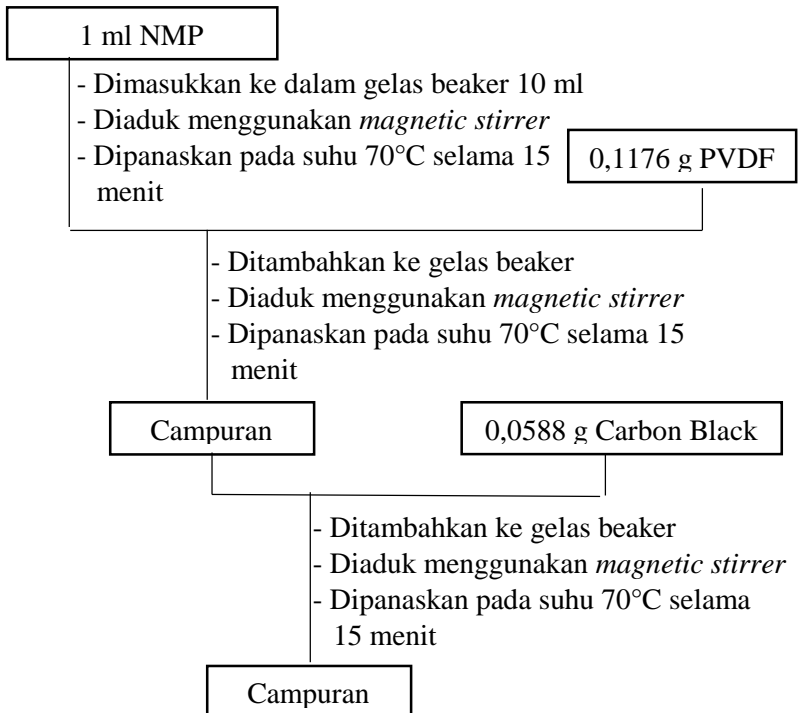


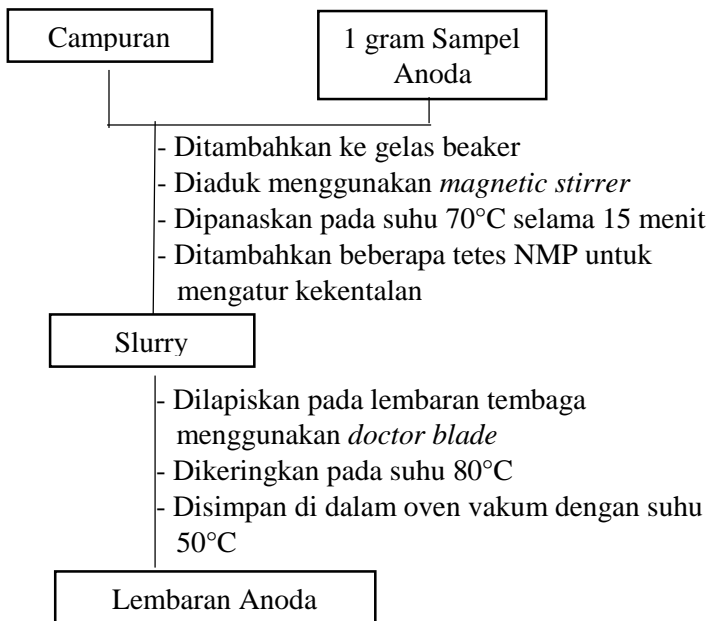


### 3. Pembuatan Variasi Penambahan Grafit

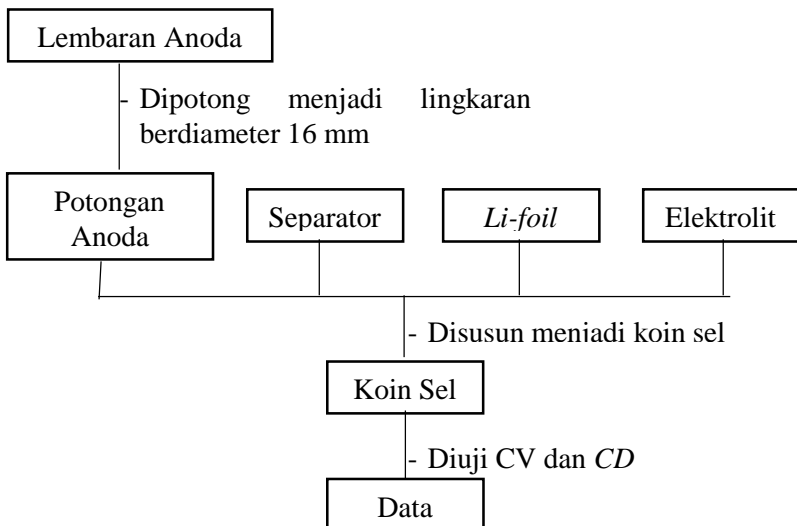


### 4. Pembuatan Lembaran Anoda



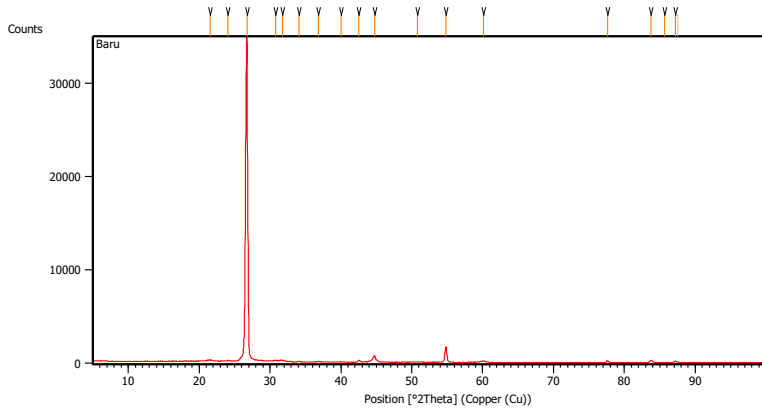


## 5. Perangkaian Koin Sel

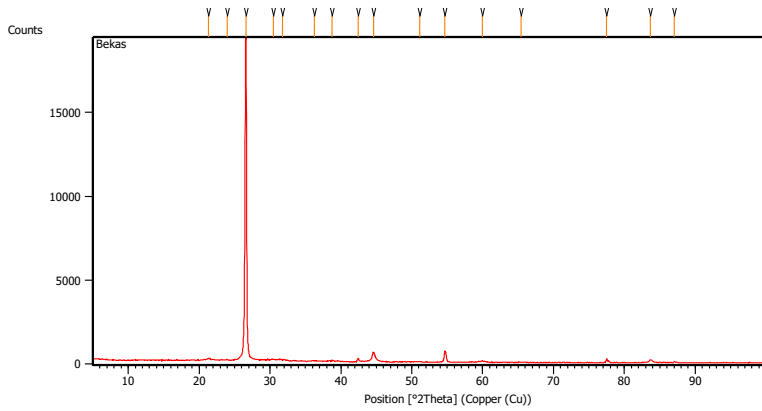


## Lampiran B: Data Difraktogram XRD

### 1. XRD Anoda Baru

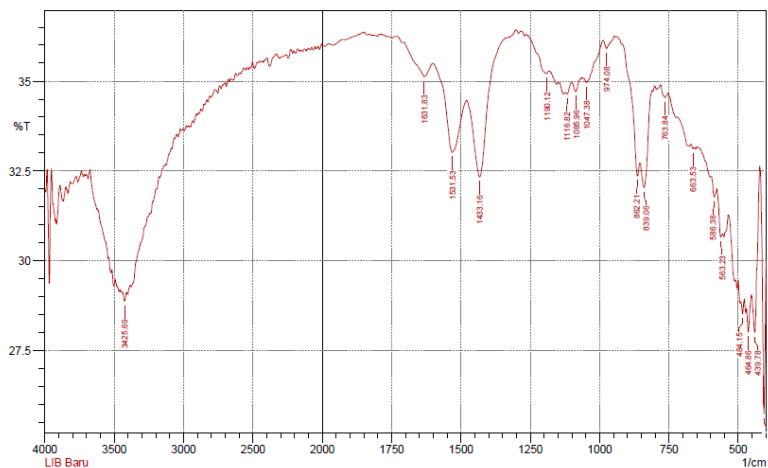


### 2. XRD Anoda Bekas



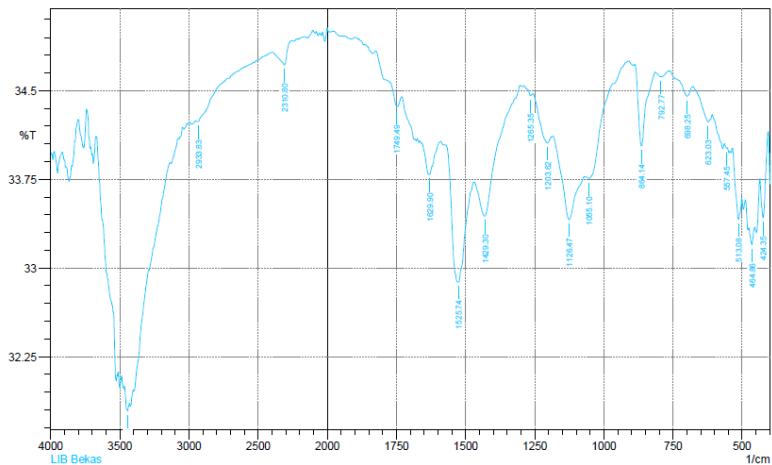
## Lampiran C: Data FTIR

### 1. FTIR Anoda Baru



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	406.99	25.737778	5.196398	420.5	399.28	11.541173	0.791039
2	439.78	28.00195	2.48597	451.36	422.42	15.287341	0.535113
3	464.86	28.017852	0.741933	468.72	453.29	8.417217	0.09414
4	484.15	28.516059	0.385721	489.94	478.36	6.271407	0.033729
5	563.23	30.657538	0.461506	576.74	557.45	9.788469	0.059434
6	586.38	31.772733	0.406583	596.02	576.74	9.556177	0.057817
7	663.53	33.116652	0.066406	671.25	659.68	5.546252	0.004234
8	763.84	34.548809	0.210984	781.2	752.26	13.315082	0.045544
9	839.06	32.039968	1.394828	854.49	810.13	21.319358	0.376337
10	862.21	32.357357	0.771127	918.15	854.49	29.5629	0.016391
11	974.08	35.911438	0.267815	987.59	947.08	17.943517	0.068341
12	1047.38	34.959819	0.262809	1057.03	987.59	31.285764	0.140634
13	1085.96	34.710253	0.320165	1101.39	1064.74	16.75554	0.06444
14	1116.82	34.643477	0.089175	1120.68	1101.39	8.84702	0.010532
15	1190.12	35.207099	0.151898	1257.63	1184.33	32.81088	0.089818
16	1433.16	32.330118	2.702449	1479.45	1336.71	66.122858	1.622884
17	1531.53	33.019359	1.886758	1600.97	1479.45	56.647487	1.205296
18	1631.83	35.127552	0.54094	1703.2	1600.97	46.004102	0.376732
19	3425.69	28.875312	0.258686	3439.19	3410.26	15.551414	0.05474

## 2. FTIR Anoda Bekas



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	424.35	33.4237	0.4833	435.93	405.06	14.5746	0.0977
2	464.86	33.1963	0.1445	476.43	453.29	11.061	0.0195
3	513.08	33.4096	0.3277	534.3	501.51	15.5335	0.0806
4	557.45	34.0115	0.0173	563.23	553.59	4.5158	0.0011
5	623.03	34.2348	0.0482	677.04	617.24	27.7256	0.0102
6	698.25	34.4508	0.1166	761.91	677.04	39.1706	0.0519
7	792.77	34.6181	0.0417	813.99	767.69	21.3165	0.0138
8	864.14	34.0292	0.6724	887.28	813.99	33.9614	0.2589
9	1055.1	33.7576	0.0972	1068.6	910.43	73.4663	0.0557
10	1126.47	33.4077	0.5322	1184.33	1070.53	53.7613	0.3537
11	1203.62	34.0563	0.1484	1255.7	1186.26	32.3572	0.0834
12	1265.35	34.4575	0.0375	1288.49	1255.7	15.1578	0.0059
13	1429.3	33.4375	0.4796	1467.88	1303.92	76.8545	0.3242
14	1525.74	32.8815	1.0179	1570.11	1469.81	47.8269	0.6766
15	1629.9	33.7903	0.0146	1631.83	1591.33	19.0058	0.0017
16	1749.49	34.3639	0.1347	1780.36	1730.21	23.2038	0.034
17	2310.8	34.717	0.1676	2397.6	2256.79	64.5462	0.1253
18	2933.83	34.2368	0.0114	2939.61	2717.79	102.8934	-0.0511
19	3443.05	31.7911	0.1186	3466.2	3431.48	17.2523	0.0394



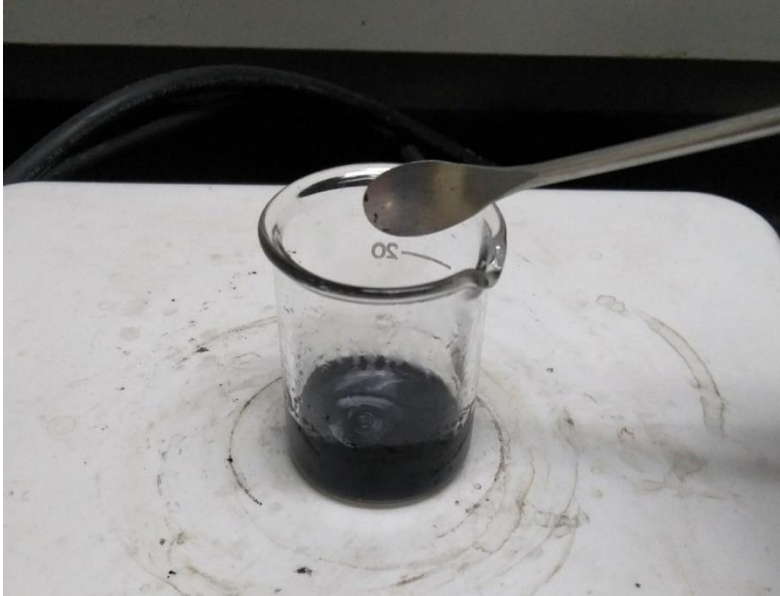
### Lampiran D: Pembuatan Lembaran Anoda



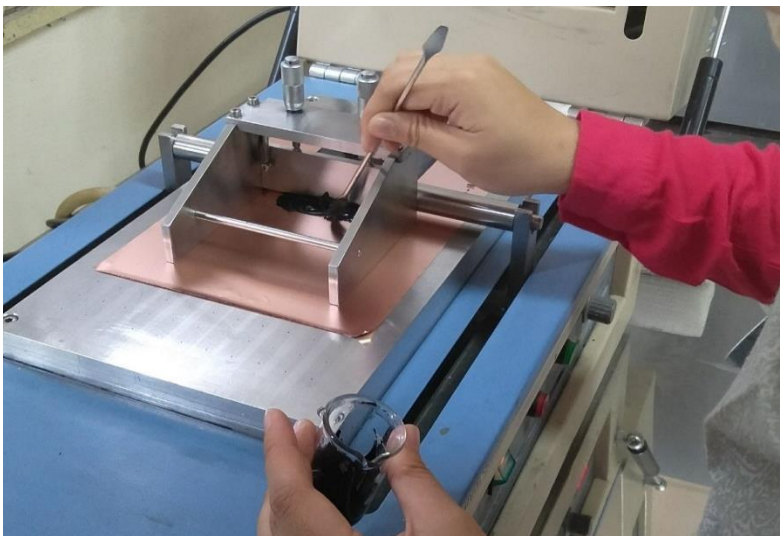
Gambar D.1 Menghaluskan sampel anoda



Gambar D.2 Menimbang sampel anoda



Gambar D.3 Pembuatan Slurry

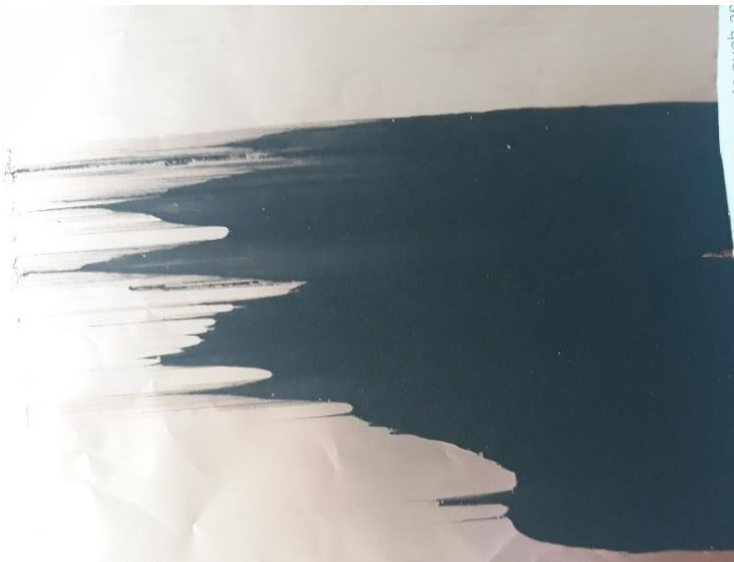


Gambar D.3 Pelapisan Slurry di lembaran tembaga

### Lampiran E: Perangkaian Koin Sel



Gambar E.1 Anoda Baru



Gambar E.2 Anoda Bekas 0%



Gambar E.3 Anoda Bekas 5%



Gambar E.4 Pemotongan lembaran anoda



Gambar E.5 Pemotongan lembaran anoda



Gambar E.6 Anoda hasil pemotongan



Gambar E.6 Perangkaian koin sel



Gambar E.7 Perangkaian koin sel



Gambar E.8 Penambahan larutan elektrolit



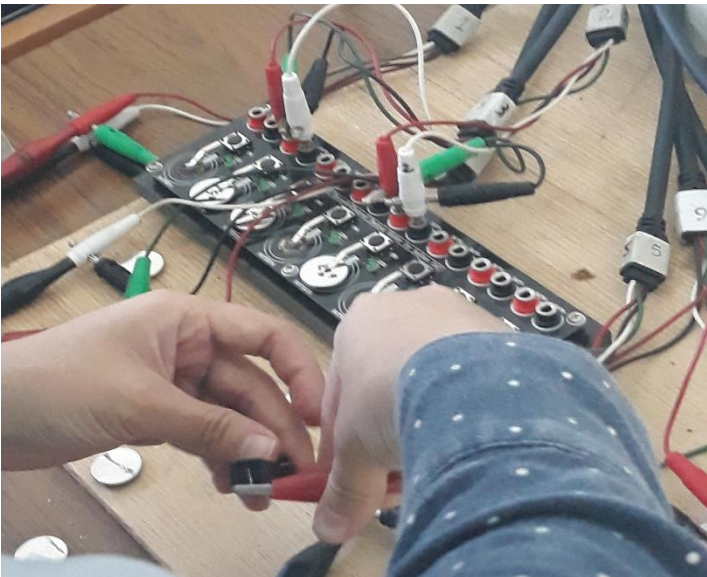
Gambar E.9 Penempatan *Li-foil*



Gambar E.10 Koin sel dipress



Gambar E.11 Pengukuran potensial awal koin sel



Gambar E.4 Pengujian CV dan CD



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Adelia Riska Pratiwi dan lahir di Surabaya pada tanggal 21 Agustus 1997. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu:

- a. SDN Mojo 4 Surabaya
- b. SMP Negeri 3 Surabaya
- c. SMA Negeri 16 Surabaya

Penulis diterima di Departemen Kimia Fakultas Sains Institut Teknologi Sepuluh

Nopember pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 01211540000084. Selama masa kuliah, penulis aktif dalam organisasi sebagai staf departemen minat-bakat HIMKA-ITS periode 2016/2017 dan staf ahli departemen PSDM HIMKA-ITS periode 2017/2018. Selain organisasi, penulis juga aktif dalam kepanitian acara di ITS seperti Chemistry Week dan Gerigi ITS. Pengalaman kerja praktek penulis dilakukan di Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan milik Kementerian Kelautan dan Perikanan di Jakarta pada tahun 2018. Penulis mengambil bidang Instrumentasi dan Sains Analitik untuk menyelesaikan Tugas Akhir jenjang S-1 dibawah bimbingan Ibu Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D dan Bapak Suprpto, Ph.D. Penulis juga dibimbing oleh Bapak Dr. Ir. Bambang Prihandoko, M.T. saat menyelesaikan Tugas Akhir di Pusat Penelitian Fisika LIPI. Saran dan kritik bagi penulis atas naskah ini dapat menghubungi melalui email [adeliariskapратиwi@yahoo.co.id](mailto:adeliariskapратиwi@yahoo.co.id).