

PELAPISAN BAHAN ANODA GRAFIT MENGGUNAKAN *CITRIC ACID* DENGAN VARIASI TEMPERATUR SINTERING UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA BATERAI ION LITHIUM

SKRIPSI

Oleh:

Silfia Maftuhatus Ni'mah

NIM. 12640029



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

**PELAPISAN BAHAN ANODA GRAFIT MENGGUNAKAN *CITRIC ACID*
DENGAN VARIASI TEMPERATUR SINTERING UNTUK MENINGKATKAN
PERFORMA BATERAI ION LITHIUM**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

SILFIA MAFTUHATUN NI'MAH

12640029

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PELAPISAN BAHAN ANODA GRAFIT MENGGUNAKAN *CITRIC ACID*
DENGAN VARIASI TEMPERATUR SINTERING UNTUK MENINGKATKAN
PERFORMA BATERAI ION LITHIUM**

SKRIPSI

Oleh:

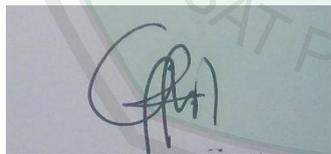
SILFIA MAFTUHATUN NI'MAH

NIM. 12640029

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:

Tanggal : 2016

Pembimbing I,



Erna Hastuti, M.Si

NIP. 19811119 200801 2 009

Pembimbing II,



Umayyatus Syarifah, M.A

NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

HALAMAN PENGESAHAN

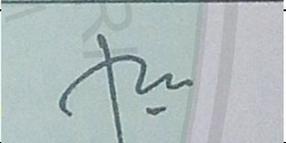
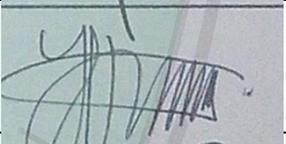
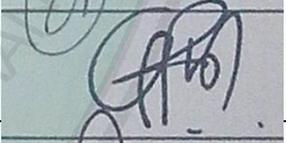
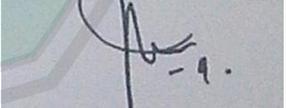
**PELAPISAN BAHAN ANODA GRAFIT MENGGUNAKAN *CITRIC ACID*
DENGAN VARIASI TEMPERATUR SINTERING UNTUK MENINGKATKAN
PERFORMA BATERAI ION LITHIUM**

SKRIPSI

Oleh:

SILFIA MAFTUHATUN NI'MAH
NIM.12640029

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: Juni 2016

Penguji Utama	: <u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Ketua Penguji	: <u>Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Sekretaris Penguji	: <u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Anggota Penguji	: <u>Umayyatus Syarifah, M.A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Silfia Maftuhatur Ni'mah
NIM : 12640029
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains Dan Teknologi
Judul Penelitian : Pelapisan Bahan Anoda Grafit Menggunakan *Citric Acid* Dengan Variasi Temperatur Sintering Untuk Meningkatkan Performa Baterai Ion Lithium

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, makasaya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, Juni 2016

Yang Membuat Pernyataan,



Silfia Maftuhatur Ni'mah
NIM. 12640029

MOTTO

قُلْ إِنَّ صَلَاتِي وَنُسُكِي وَمَحْيَايَ وَمَمَاتِي لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

Katakanlah: Sesungguhnya shalatku, ibadahku, hidupku dan matiku hanyalah untuk Allah, Tuhan semesta alam

(QS. Al An'am: 162)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim

Sembah sujud serta syukur kepada Allah Swt. Taburan cinta dan kasih sayang-Mu telah memberikanku kekuatan, membekaliku dengan ilmu. Atas karunia serta kemudahan yang Engkau berikan akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam selalu terlimpahkan kepada Rasulullah Muhammad Saw.

Kupersembahkan karya sederhana ini kepada orang yang sangat kusayangi dan kukasih.

Ayah dan ibu tercinta

Untuk Bapak Suhadi dan Ibu Dewi Umayah. Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terimakasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada ayah dan ibu yang telah memberikan kasih sayang, segala motivasi dan nasehat, serta do'a yang terus mengalir tiada henti yang tak mungkin dapat kubalas hanya dengan selebar kertas bertuliskan kata cinta dan persembahan. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat ayah dan ibu bahagia, karena selama ini aku belum bisa membuatnya bahagia.

I hope my parents can be happy and proud of me

My Sisters

Untuk adik-adikku Nadia Nurfaizah dan Nida'ul Fithroh, tiada yang paling mengharukan saat kumpul bersama kalian, walaupun sering bertengkar tapi hal itu selalu menjadi warna yang tak akan bisa tergantikan, hanya karya kecil ini yang dapat aku persembahkan. Maaf belum bisa menjadi parutan seutuhnya.

Teman2 Fisika 2012, "Geulis Euey", my partner Azizah, dan penasihatku Aryu senasib, seperjuangan, dan sepenanggungan, terimakasih atas gelak tawa dan solidaritas yang luar biasa sehingga membuat hari-hari semasa kuliah lebih berarti. Semoga tak ada lagi duka nestapa di dada tapi suka dan bahagia juga tawa dan canda. Dan semoga kita semua sukses.

Dosen Pembimbing Bu Erna, Bu Ulmai, dan Pak Fadli terimakasih karena sudah sabar dan telaten dalam membimbing, memberikan arahan, ilmu, nasehat dan pengalaman yang luar biasa. Seluruh dosen, laboran, dan admin Fisika Fakultas Saintek serta dosen dan staf Baterai PPF-LIP Serpong, terimakasih banyak untuk semua ilmu, didikan dan pengalaman yang sangat berarti yang telah kalian berikan kepada kami.

Serta semua pihak yang sudah membantu selama penyelesaian Tugas Akhir ini. Semoga Allah Swt membalas jasa budi dan memberikan kemudahan dalam segala hal. آمين

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Baginda Rasulullah, Nabi besar Muhammad SAW serta para keluarga, sahabat, dan pengikut-pengikutnya. Atas Ridho dan Kehendak Allah SWT, Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Pelapisan Bahan Anoda Grafit Menggunakan Citric Acid Dengan Variasi Temperatur Sintering Untuk Meningkatkan Performa Baterai Ion Lithium** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do'a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. Hj. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan dan dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu, nasehat dan inspirasinya sehingga dapat melancarkan dalam proses penulisan Skripsi.
4. Fadli Rohman, M.Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak meluangkan waktu dan pikirannya dan memberikan bimbingan, bantuan serta pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Umayyatus Syarifah, M.A selaku Dosen Pembimbing Agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan al-Quran serta Hadits.
6. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya,

membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses perkuliahan.

7. Segenap dosen dan karyawan PPF-LIPI, terima kasih telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses penelitian.
8. Kedua orang tua Bapak Suhadi dan Ibu Dewi Umayah dan semua keluarga yang telah memberikan dukungan, ridha, serta selalu mendoakan di setiap langkah penulis.
9. Teman-teman dan para sahabat terimakasih atas kebersamaan dan persahabatan serta pengalaman selama ini
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu dan dapat menjadikan inspirasi kepada para pembaca *Amin Ya Rabbal Alamin.*

Wassalamu'alaikumWr. Wb.

Malang, Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	6
1.4 Manfaat	6
1.5 Batasan Masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Baterai	8
2.2 Sel Galvanik	10
2.3 Baterai Ion Lithium	13
2.4 Karbon	22
2.4.1 Karakteristik Karbon	22
2.3.2 Karbon Aktif	23
2.5 Asam Sitrat	29
2.6 Komponen Tambahan Penyusun Anoda Baterai	30
2.6.1 Binder PVDF (<i>poly vinylidene fluoride</i>)	31
2.6.2 Zat Aditif <i>Acetylene Black</i>	32
2.6.3 Pelarut DMAC (<i>N-N Dimethyl Acetamide</i>)	33
2.6.4 Copper Foil (Cu- Foil)	34
2.7 XRD	34
2.8 SEM	35
2.9 Voltametri Siklik	36
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	40
3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian	40
3.2.1 Peralatan Penelitian	40
3.2.2 Bahan	41
3.3 Prosedur penelitian	42
3.3.1 Sintesis Grafit	42
3.3.2 Karakterisasi Material	43
3.3.3 Pembuatan <i>Slurry</i>	43
3.3.4 Pembuatan Lembaran	43

3.3.5 <i>Calendering</i> dan <i>Cutting</i> Lembaran Anoda	44
3.3.6 <i>Assembly</i> Baterai	44
3.3.7 Uji Baterai	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Penelitian	47
4.1.1 Pelapisan Bahan Anoda Grafit	47
4.1.2 Karakterisasi Struktur Mikro	48
4.1.3 Karakterisasi XRD Grafit Terlapisi <i>Citric acid</i>	52
4.1.4 Pembuatan Baterai Ion Lithium	53
4.1.5 Pengujian CV	54
4.1.6 <i>Charge Discharge</i>	57
4.2 Pembahasan	61
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sel Galvanik	11
Gambar 2.2 Konsep Kerja Baterai Lithium	14
Gambar 2.3 Proses interkalasi ion lithium pada baterai ion lithium	14
Gambar 2.4 Ilustrasi Anoda	15
Gambar 2.5 Ilustrasi Katoda	17
Gambar 2.6 Susunan Komponen Baterai	19
Gambar 2.7 Tiga buah sel elektrokimia yang berfungsi sebagai penyimpan dan konversi energi listrik	20
Gambar 2.8 Skematik proses <i>discharge</i> dan <i>charge</i> yang terjadi pada elektroda baterai primer dan sekunder	20
Gambar 2.9 Tahapan Prose Adsorpsi	24
Gambar 2.10 Skematis Host Interkalasi Dari Grafit	25
Gambar 2.11 Struktur Grafit	27
Gambar 2.12 (a) struktur grephene berupa lapisan dengan ketebalan 1 atom C (b)struktur grafit yang terdiri dari lapisan grephene	28
Gambar 2.13 Struktur PVDF	32
Gambar 2.14 <i>SEM images of the as-received acetylene blacks</i>	33
Gambar 2.15 <i>electrodeposited copper foil for Lithium-ion batteries</i>	34
Gambar 2.16 Ilustrasi Difraksi Sinar-X pada XRD	35
Gambar 2.17 Rangkaian Alat Voltametri Siklik	38
Gambar 2.18 Sinyal Eksitasi Untuk Voltametri Siklik	39
Gambar 2.19 Voltamogram Siklik Reaksi Reduksi Oksidasi Secara <i>Reversible</i>	36
Gambar 3.1 Desain Lembaran	44
Gambar 3.2 Desain Lembaran Anoda	44
Gambar 3.3 Prosedur Penelitian	46
Gambar 4.1 Hasil SEM (a) sampel 1 sintering temperatur 500 °C, (b) sampel 2 sintering temperatur 600 °C, (c) sampel 3 sintering temperatur 700 °C (d) sampel grafit murni	49
Gambar 4.2 Hasil EDX <i>sum spectrum</i> (a) sampel 1, (b) sampel 2, dan (c) sampel 3	50
Gambar 4.3 (a)-(c) Hasil SEM-EDX tampak pemetaan sebaran unsur C dan unsur O. (d)-(f) Hasil SEM-EDX tampak sebaran unsur C. (g)-(i) Hasil SEM-EDX tampak sebaran unsur O	50
Gambar 4.4 Pola XRD dari sampel grafit murni dan grafit terlapisi <i>citric acid</i> dengan sintering pada berbagai temperatur	52
Gambar 4.5 <i>Cyclic Voltammograms</i> sampel grafit tidak terlapisi dan grafit terlapisi cycle 2	55
Gambar 4.6 <i>Cyclic Voltammograms</i> sampel grafit tidak terlapisi dan grafit terlapisi cycle 3	56
Gambar 4.7 Grafik arus listrik (μA) terhadap kapasitas <i>charge</i> (μAh)	58
Gambar 4.8 Grafik arus listrik (μA) terhadap kapasitas <i>discharge</i> (μAh)	58
Gambar 4.9 Grafik hubungan arus (μA) terhadap efisiensi <i>coulumbic</i> (%)	60
Gambar 4.10 Grafik waktu <i>charge</i> terhadap kapasitas <i>charge</i>	61
Gambar 4.11 Grafik waktu <i>discharge</i> terhadap kapasitas <i>discharge</i>	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beberapa material yang digunakan untuk anoda	16
Tabel 2.2 Beberapa jenis material yang digunakan untuk katoda	17
Tabel 2.3 Perbandingan Elektrolit Cair Dan Elektrolit Padat	18
Tabel 2.4 <i>Lattice Parameter Relationships and Figures Showing Unit Cell Geometries for the Seven Crystal Systems</i>	25
Tabel 2.5 Sifat-sifat Asam Sitrat	30
Tabel 4.1 Sebaran unsur C dan unsur O	50
Tabel 4.2 pergeseran nilai 2θ pada sampel	53
Tabel 4.3 Efisiensi <i>Coulombic</i>	59
Tabel 4.4 Waktu Pengisian	60
Tabel 4.5 Waktu Pengosongan.....	60



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Lampiran Gambar
Lampiran 2	Lampiran JCPDS
Lampiran 3	Data Hasil Uji Charge Discharge
Lampiran 4	Kartu Bukti Konsultasi



ABSTRAK

Ni'mah, Silfia Maftuhaturun. 2016. **Pelapisan Bahan Anoda Grafit Menggunakan Citric Acid Dengan Variasi Temperatur Sintering Untuk Meningkatkan Performa Baterai Ion Lithium**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Erna Hastuti, M.Si (II) Fadli Rohman, M.Si (III) Umayyatus Syarifah, M.A.

Kata Kunci: Baterai Li-ion, *Citric Acid*, Grafit, Pelapisan Karbon, Sintering

Kerapatan energi dan tingkat performa grafit yang tidak efisien telah membatasi penggunaannya sebagai penyimpan energi, maka perlu diperlukan modifikasi permukaan grafit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur sintering terhadap struktur mikro grafit terlapisi karbon dan kualitas pelapisan grafit terlapisi karbon, serta pengaruh respon karakteristik elektrokimia pada pelapisan grafit. Pelapisan grafit oleh citric acid dilakukan dengan cara sintesis dengan komposisi grafit:citric acid adalah 1:1. Variasi temperatur sintering yaitu 500 °C, 600 °C, dan 700 °C. Kapasitas optimum terdapat pada sampel 3 dengan temperatur sintering 700 °C. Analisa berdasarkan struktur mikro (XRD) tidak ada perbedaan antara satu sampel dengan yang lainnya. Berdasarkan kualitas pelapisan yang ditunjukkan pada hasil uji SEM-EDX dimana unsur C lebih banyak dibandingkan unsur O, sampel 1 memiliki unsur O paling banyak dibandingkan sampel 3 dan sampel 2. Menurut hasil uji CV pada siklus kedua dan siklus ketiga, sampel 3 memiliki puncak anodik paling tinggi dibanding sampel 1 dan sampel 2. Sampel grafit terlapisi *citric acid* dengan suhu tinggi lebih baik dari sisi kapasitasnya. Namun pada temperatur rendah (500 °C dan 600 °C), kapasitas sampel grafit murni lebih baik dibandingkan sampel grafit terlapisi *citric acid*.

PUSAT PERPUSTAKAAN

ABSTRACT

Ni'mah, Silfia Maftuhaturun. 2016. **Graphite Anode Coatings Materials Using Citric Acid with Sintering Temperature Variation to Increase Lithium Ion Battery Performance**. Thesis. Phisycs Departement, Faculty of Science and Technology, The Islamic State University Maulana Malik Ibrahim of Malang. Advisor: (I) Erna Hastuti, M.Si (II) Fadli Rohman, M.Si (III) Umaiatus Syarifah, M.A.

Keywords: Li-ion battery, Citric Acid, Graphite, Carbon Coated, Sintering.

Inefficiencies in energy density and level of performance graphite have limited its use as a store of energy, it is necessary modifications needed graphite surface. This study aims to determine the effect of variations in temperature sintering to microstructure of graphite coated with carbon and carbon coated graphite coating quality, as well as the influence of the response characteristics of the electrochemical coating graphite. Graphite coating by citric acid done by the synthesis with graphite composition: citric acid is 1: 1. Variations sintering temperature of 500 °C, 600 °C and 700 °C. Optimum capacity contained in the sample 3 with a sintering temperature of 700 °C. The analysis of the microstructure (XRD) there is no difference between one sample to another. Based on the quality of the coating is shown in the SEM-EDX test results in which the elements of C more than the elements O, sample 1 has an element O at most compared to sample 3 and sample 2. According to the CV test results in the second cycle and the third cycle, the sample 3 has the anodic peak highest compared to samples 1 and 2. sample graphite coated in citric acid at high temperatures better than the capacity. However, at low temperature (500 °C and 600 °C), the capacity of the sample is better than pure graphite coated graphite sample citric acid.

PUSAT PERPUSTAKAAN

ملخص البحث

النعمة، سيلفيا مفتوحة. 2016. طلاء مادة قطب موجب جرافيت *grafit* باستخدام *citric acid* بلون درجة حرارة تسخين *sintering* لترقية مظهر بطارية *Ion Lithium*. رسالة البحث. قسم علم الفيزياء. كلية العلوم والتكنولوجيا. جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (1) إيرنا هاستوتي الماجستير، (2) فضل رحمن الماجستير (3) أماتية الشريفة الماجستير.

الكلمة الرئيسية: بطارية أيون ليثيوم *Ion Lithium*، *Citric Acid*، طلاء كربون *Karbon*، تسخين *Sintering*.

قد قيّد غير فعال في سديد المادة وطبقة مظهر جرافيت *grafit* لمستخدمه كحافظ المادة. لاغنى عن تعديل صفحة جرافيت. يهدف هذا البحث لمعرفة تأثير لون درجة حرارة تسخين *sintering* على تركيب جزئي جرافيت المطلي بكربون *karbon* وجودة طلاء جرافيت بكربون وتأثير إستجابة مميزة الكيمياء الكهربائية *elektrokimia* على طلاء جرافيت. يقام طلاء جرافيت ب *citric acid* بطريقة الصناعية وتكوين الجرافيت كما يلي؛ *citric acid* 1:1، ولون درجة حرارة تسخين *sintering* 500 °C و 600 °C و 700 °C. بناءً على تركيب جزئي (*XRD*) لا فرق بين عينة وغيرها. وبناءً على جودة الطلاء المعروض في نتائج الإختبار *SEM-EDX* أن عنصر C أكثر من عنصر O، وعينة 1 لها عنصر O أكثر من عينة 3 وعينة 2. وبناءً على نتائج الإختبار CV في الدور الثاني والدور الثالث، أن العينة 3 لها قمة قطب موجب أعلى من العينة 1 والعينة 2. كان طلاء عينة الجرافيت *citric acid* بارتفاع في درجة حرارة أحسن في جهة طاقته، ولكن بانخفاض في درجة الحرارة (500 °C و 600 °C)، طاقة عينة جرافيت الأصلية أحسن من عينة جرافيت المطلية ب *citric acid*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi tidak akan lepas dari kehidupan manusia. Konsumsi energi yang sedemikian tinggi menyebabkan sumber energi minyak bumi semakin menipis, oleh karena itu perlu adanya sumber energi alternatif. Salah satu upaya sumber energi alternatif adalah mengembangkan baterai. Alasan utama baterai menjadi energi alternatif karena bentuknya sederhana, ringan, tahan lama, dan dapat diisi ulang energinya (Minami, 2005).

Salah satu alat penyimpan energi adalah baterai. Baterai telah dikenal luas dalam penggunaannya sebagai sumber energi benda-benda elektronik seperti mainan anak, lampu senter, dan lain-lain. Keunggulan baterai sebagai sumber energi listrik adalah kemudahannya untuk dibawa kemana-mana, dapat diisi ulang, ringan, dan dapat menyimpan energi yang cukup besar.

Baterai merupakan sel elektrokimia yang menghasilkan tegangan konstan sebagai hasil reaksi kimia. Ion bagian dari reaksi yang melewati langsung elektrolit. Elektroda yang teroksidasi disebut anoda dan elektroda yang tereduksi disebut katoda. Elektroda dapat beroperasi jika dapat menghantarkan elektron dalam sistem baterai, sehingga harus mempunyai daya hantar tinggi, tetapi untuk bisa beroperasi diperlukan separator. Sirkuit terbuka dalam sistem baterai yang dirangkaikan dalam keadaan standar energi bebas Gibbs mampu mengubah reaksi kimia menjadi energi listrik (Minami, 2005).

إِن أَحْسَنْتُمْ أَحْسَنْتُمْ لِنَفْسِكُمْ وَإِن أَسَأْتُمْ فَلَهَا

“ jika kamu berbuat baik (berarti) kamu berbuat baik bagi dirimu sendiri dan jika kamu berbuat jahat, Maka (kejahatan) itu bagi dirimu sendiri,” (QS. Al Isra (17): 7)

Jika kamu memperbaiki amalan berartilah kamu berbuat ihsan kepada dirimu sendiri. Sebab, pahala amalan adalah untukmu sendiri. Sebaliknya, jika kamu berbuat jahat (maksiat) atau merusak amalanmu dengan membuat kerusakan dan kezaliman, akibat dari semua itu akan kembali kepadamu (ash-Shiddieqy, 2000: 2304).

Ayat tersebut dapat dikaitkan dengan konsep hukum termodinamika yaitu “energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi dia bisa berubah bentuk”. Setiap hal yang dilakukan seorang manusia maka akan kembali pada dirinya sendiri. Misalnya melakukan perbuatan buruk maka tanpa sadar manusia akan melepas energi negatif untuk lingkungan sekitarnya dan kemudian berdampak pula untuk dirinya sendiri. Sebaliknya, jika seorang hamba berbuat baik maka tanpa sadar akan melepas energi positif untuk lingkungan sekitarnya yang berdampak pula pada dirinya sendiri. Energi itu akan kembali memantul, dia tidak musnah tetapi sangat mungkin dia berubah bentuknya.

Baterai merubah energi kimia menjadi energi litrik. Dalam sebuah sel, energi listrik dihasilkan dengan jalan pelepasan elektron pada suatu elektroda (oksidasi) dan penerimaan elektron pada elektroda lainnya (reduksi). Elektroda yang melepaskan elektron dinamakan anoda sedangkan elektroda yang menerima elektron dinamakan katoda.

Baterai yang digunakan pada zaman dahulu memiliki kelemahan yaitu berukuran besar dan berat sehingga menghambat aktivitas manusia. Dibutuhkan baterai yang ringan, memiliki kapasitas yang besar dan mudah dibawa kemana-mana agar memudahkan aktivitas manusia. Hal-hal tersebut terdapat pada baterai ion lithium.

Banyak jenis baterai isi ulang, salah satunya adalah baterai Li-ion yang memiliki volumetrik tinggi dan kerapatan energi galvametrik yang tinggi pula, karena berat atomnya kecil sekitar 6,94 g/mol. Baterai Li-ion biasa digunakan sebagai sumber energi pada kendaraan listrik ataupun perangkat elektronik portabel. Baterai Li-ion juga memiliki beda potensial tinggi, densitas energi tinggi dan stabilitas *cycling* yang baik (Chew dkk, 2008).

Komponen baterai ion lithium secara umum terdiri dari empat macam, yaitu anoda, katoda, elektrolit, dan separator. Anoda merupakan kutub positif pada baterai atau elektroda yang melepas elektron. Selain kelebihan yang telah dijelaskan, baterai lithium sekunder memiliki masalah yaitu karakteristik yang tidak aman seperti pembakaran dan ledakan karena dendrit yang terbentuk pada permukaan logam lithium selama siklus *charge-discharge*. Untuk mengatasi masalah tersebut maka perlu digunakan senyawa interkalasi lain sebagai anoda untuk baterai lithium sekunder.

Bahan alternatif yang bisa menggantikan logam lithium sebagai anoda adalah bahan karbon, karena bahan tersebut tersedia banyak di alam terutama di Indonesia. Bahan karbon yang telah diteliti memiliki kapasitas *reversible* yang

tinggi, efisiensi *cyclic* yang tinggi, dan potensial elektrokimia yang rendah dan *long cycling life*.

Grafit adalah satu inti karbon yang merupakan konduktor listrik yang bisa digunakan sebagai material elektroda pada sebuah lampu listrik (Willis, 1989). Bahan grafit mempunyai keistimewaan seperti sifat mekanis seperti logam, ringan dan mempunyai sifat yang baik serta dari segi ekonomi bahan dasar grafit buatan tersedia melimpah dan murah (Artadi, 2007).

Yu-Jin, 2015 menjelaskan dalam jurnalnya bahwa grafit telah digunakan sebagai bahan anoda standar dalam baterai Li-ion saat ini. Namun, ketidakefisienan kerapatan energi dan tingkat performa grafit telah membatasi penggunaannya untuk aplikasi penyimpanan energi. Dalam upaya untuk meningkatkan tingkat performa sebagai bahan anoda, banyak peneliti telah melaporkan bahwa grafit berbasis bahan anoda dapat mencapai tingkat performa yang tinggi melalui modifikasi permukaan. Pertemuan elektroda-elektrolit dapat dikontrol dengan memodifikasi grafit dengan menambahkan ion metal oxide dan karbon komposit. Yeo, dkk telah melaporkan bahwa tingkat performa dapat ditingkatkan melalui reduksi/pengurangan lapisan permukaan. Ion lithium dapat mengangkut bagian karbon dengan mudah dengan melapisi lapisan isotropis pada grafit.

Liang, dkk. 2013 melakukan sintesis pelapisan karbon Li_3VO_4 menggunakan asam sitrat untuk meningkatkan performa elektrokimia baterai ion lithium. Dalam jurnalnya dijelaskan variasi sintering karbon yang terlapisi dilakukan pada temperatur 550 °C, 600 °C, 650 °C, dan 700 °C. Hasil dari

penelitian tersebut bahwa sampel Li_3VO_4 dilapisi karbon memiliki stabilitas struktur yang sangat baik. Sampel sintering pada temperatur $650\text{ }^\circ\text{C}$ menunjukkan kapasitas yang lebih tinggi dan stabilitas cycle yang lebih baik dari pada yang lain. Sampel juga menunjukkan tingkat kemampuan yang sangat baik dengan kapasitas *discharge-charge* dari $\sim 180\text{ mAh g}^{-1}$ dan $\sim 90\text{ mAh g}^{-1}$ di 12C dan 40C.

Fadli, dkk. 2015 menggunakan asam sitrat untuk dilapiskan pada $\text{LiFe}_{0.7}\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.1}\text{PO}_4$ sebagai bahan katoda baterai ion lithium. Hasil *cyclic voltametri*, *charge discharge*, *C-rate*, dan analisis *life cycle* menunjukkan bahwa karbon yang terlapisi asam sitrat lebih baik dari pada karbon yang tidak terlapisi. Pada voltamogram siklik, $\text{LiFe}_{0.7}\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.1}\text{PO}_4$ terlapisi karbon lebih tajam dari pada yang tidak dilapisi. Kapasitas *discharge* $\text{LiFe}_{0.7}\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.1}\text{PO}_4$ terlapisi karbon sebesar 50 mAh/g lebih tinggi dari yang tidak terlapisi karbon sebesar 30 mAh/g .

Pada penelitian ini akan dilakukan pelapisan grafit menggunakan *Citric acid* sebagai anoda baterai ion lithium agar mendapatkan baterai yang tahan lama, aman, dan murah. Pelapisan grafit ini memvariasikan temperatur sintering setelah bahan disintesis dan dikeringkan dalam oven. Variasi temperatur sintering diharapkan dapat mengetahui temperatur yang cocok untuk pelapisan grafit, sehingga mendapatkan baterai ion lithium dengan kapasitas yang besar. Pelapisan menggunakan karbon amorf berupa *Citric acid* ini diharapkan dapat memperbaiki ketidakefisienan kerapatan energi dan tingkat performa grafit.

1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana pengaruh variasi temperatur sintering terhadap struktur mikro grafit terlapisi karbon?
- b. Bagaimana pengaruh variasi temperatur sintering terhadap kualitas pelapisan grafit terlapisi karbon?
- c. Bagaimana pengaruh respon karakteristik elektrokimia pada pelapisan bahan grafit oleh *Citric acid*?

1.3 Tujuan

- a. Untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur sintering terhadap struktur mikro grafit terlapisi karbon.
- b. Untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur sintering terhadap kualitas pelapisan grafit terlapisi karbon.
- c. Untuk mengetahui pengaruh respon karakteristik elektrokimia pada pelapisan bahan grafit oleh *Citric acid*.

1.4 Manfaat

Diharapkan mampu memberikan informasi bagi masyarakat mengenai perkembangan baterai ion lithium yang lebih baik dan aman digunakan. Serta mengetahui temperatur sintering yang tepat digunakan pada grafit terlapisi karbon sebagai anoda untuk baterai ion lithium.

1.5 Batasan Masalah

Variabel penelitian pada pelapisan bahan anoda grafit menggunakan *Citric acid* antara lain dengan variasi temperatur proses sintering sebesar 500 °C, 600°C,

dan 700 °C. Pengujian karakterisasi material menggunakan uji SEM dan XRD. Perbandingan bahan pembuatan *slurry* antara lain grafit yang terlapis *Citric acid* 85% , PVDF 10% dan AB 5%, dan DMACnya 12 mL. Pengujian elektrokimia baterai menggunakan uji *cyclic voltammetry* dan uji *charge discharge*. Pada analisa uji *charge discharge* hanya meninjau performa baterai dari sisi kapasitas baterai dan efisiensi *columbic*-nya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baterai

Baterai mempunyai sejarah yang panjang. Bangsa Persia yang menguasai Baghdad (250 SM) dipercaya telah menggunakan alat dengan konsep yang sama dengan baterai untuk menyepuh logam. Bangsa Mesir (2300 SM) menggunakannya untuk menyepuh antimoni pada tembaga. Baterai yang sekarang mempunyai akar dengan baterai yang dibuat pada awal abad ke-19. Alessandro Volta menciptakan 'baterai pertama' yang dikenal dengan Tumpukan Volta (*Voltaic Pile*). Baterai ini terdiri dari tumpukan cakram seng dan tembaga berselang seling dengan kain basah yang telah dicelup air garam sebagai pembatasnya. Baterai ini telah mampu menghasilkan arus yang kontinu dan stabil (Buchmann, 2001).

Baterai merupakan sel elektrokimia yang menghasilkan tegangan konstan sebagai hasil reaksi kimia. Ion bagian dari reaksi yang melewati langsung elektrolit. Elektroda yang teroksidasi disebut anoda dan elektroda yang tereduksi disebut katoda. Elektroda dapat beroperasi jika dapat menghantarkan elektron dalam sistem baterai, sehingga harus mempunyai daya hantar tinggi, tetapi untuk bisa beroperasi diperlukan separator. Sirkuit terbuka dalam sistem baterai yang dirangkaikan dalam keadaan standar energi bebas Gibbs yang mampu mengubah reaksi kimia menjadi energi listrik. Alasan utama baterai menjadi energi alternatif

karena bentuknya sederhana, ringan, tahan lama, dan dapat diisi ulang energinya (Minami, 2005).

Arus listrik pada baterai mengalir searah dan terjadi bila kutub positif dihubungkan pada suatu hambatan atau beban. Oleh sebab itu, aliran baterai dinamakan *Direct Current* (DC). Proses kerjanya adalah dengan cara mengubah energi kimia yang terkandung di dalamnya menjadi energi listrik melalui reaksi elektro kimia, Redoks (Reduksi-Oksidasi). Terdapat 2 proses yang terjadi pada baterai, yaitu (Kha, 2014):

1. Proses Pengisian : Proses pengubahan energi listrik menjadi energi kimia.
2. Proses Pengosongan : Proses pengubahan energi kimia menjadi energi listrik.

Berdasarkan kemampuannya untuk dikosongkan (*discharged*) dan diisi ulang (*recharged*), baterai dibagi menjadi dua, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Kemampuan atau ketidakmampuan sebuah baterai untuk diisi ulang terletak pada reaksi kimiawi dalam baterai tersebut (Jubilee, 2010).

1. Baterai Primer

Baterai primer adalah jenis baterai yang hanya bisa dipergunakan sekali saja dan tidak dapat diisi ulang. Hampir setiap hari manusia selalu berinteraksi dengan baterai primer karena banyaknya peralatan elektronik yang telah diciptakan menggunakan sumber tenaga atau daya yang berasal dari baterai (Jubilee, 2010).

2. Baterai Sekunder

Baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang. Kemampuan diisi ulang baterai sekunder bervariasi antara 100-500 kali (satu siklus adalah satu kali

pengisian dan pengosongan). Beberapa contoh baterai sekunder adalah baterai Timbal-Asam (Aki), baterai Ni-Cd, baterai Ni-MH, dan salah satu jenis baterai yang saat ini berkembang adalah *Lithium Ion Battery* atau baterai ion lithium.

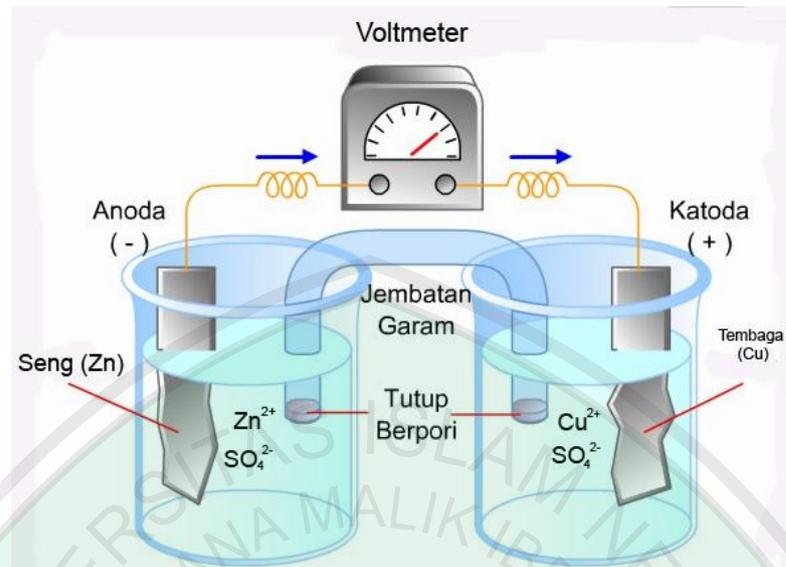
Reaksi kimia dalam baterai sekunder bersifat *reversible*, sehingga material penyusun sel dipilih dari material yang memiliki struktur kristal dengan kemampuan '*insertion compound*', yaitu material keramik yang mampu menerima dan melepaskan x koefisien ion lithium per mol A_zB_y tanpa mengalami perubahan besar atau kerusakan dalam struktur kristalnya. Persamaan dasar dari reaksi kimia yang terjadi dalam sel sekunder ditunjukkan pada persamaan (2.1) berikut ini (Linden, 1994):



2.2 Sel Galvanik

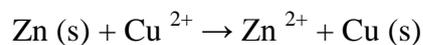
Sel Galvani adalah sel elektrokimia yang menghasilkan energi listrik dari reaksi redoks spontan yang terjadi dalam sel. Sel Galvani dinamai dari penemunya, yaitu Luigi Galvani. Selain itu juga sering disebut sel Volta, dinamai dari penemunya yaitu Alessandro Volta (Anonymous, 2013).

Sel Galvani biasanya mengandung dua buah logam yang terhubung dengan jembatan garam, atau setengah sel yang dipisahkan dengan membran porous. Untuk lebih jelas, perhatikan gambar sel Galvani berikut ini (Anonymous, 2013):



Gambar 2.1 Sel galvanik yang digunakan untuk reaksi (Anonymous, 2013)

Reaksi kimia yang terjadi pada bejana sebelah kanan merupakan reaksi reduksi dari ion tembaga (bilangan oksidasi positif) menjadi logam tembaga. Hal ini menyebabkan massa elektroda tembaga bertambah. Kekurangan muatan positif terhadap muatan negatif akibat reduksi tembaga segera disetimbangkan oleh muatan positif jembatan garam. Dengan demikian elektrolit tetap netral. Sebaliknya elektrolit dalam bejana kiri akan terjadi penambahan kation sebagai akibat reaksi oksidasi logam zink. Hal ini dapat diketahui karena berkurangnya massa elektroda zink. Reaksi sel yang terjadi adalah (Anonymous, 2013):



Jembatan garam adalah alat yang digunakan untuk menghubungkan reaksi reduksi dan oksidasi setengah sel dari sel volta. Jembatan garam berbentuk seperti huruf U terbalik yang diisi dengan larutan elektrolit KCl (dalam agar-agar) yang kedua ujungnya disumbat dengan kapas agar tidak terjadi aliran mekanis. Selain KCl, bisa juga digunakan elektrolit KNO_3 , NaCl dan K_2SO_4 . Fungsi dari jembatan

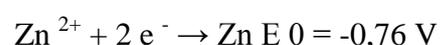
garam adalah untuk menghantarkan arus listrik antara kedua elektrolit yang berada dalam bejana. Selain itu, jembatan garam juga berguna untuk menetralkan kelebihan atau kekurangan muatan dari ion-ion yang ada dalam larutan di dalam kedua bejana selama reaksi elektrokimia berlangsung. Oleh karena itu, syarat dari suatu zat yang digunakan untuk jembatan garam adalah zat tersebut tidak boleh bereaksi dengan elektrolit yang digunakan dalam pengukuran potensial sel (Anonymous, 2013).

Elektroda dalam sel Galvani terbalik dengan elektroda sel elektrolisis. Dalam sel Galvani, elektroda berfungsi sebagai berikut:

- a. Anoda adalah elektroda dimana terjadi reaksi oksidasi (kehilangan elektron).
Anoda menarik anion.
- b. Katoda adalah elektroda dimana terjadi reaksi reduksi (menerima elektron).
Katoda menarik kation.

Potensial listrik standar dapat ditentukan dengan menggunakan tabel potensial standar setengah sel. Langkah pertama adalah mengetahui logam apa yang bereaksi dalam sel. Kemudian mencari potensial elektroda standar (E^0) dalam volt, dari masing-masing dua setengah reaksi (Anonymous, 2013).

Contoh perhitungan sel volta adalah sebagai berikut. Pada gambar di atas ada larutan $ZnSO_4$ dan $CuSO_4$ yang dihubungkan oleh jembatan garam. Elektroda yang digunakan adalah zink dan tembaga. Maka potensial standar yang dihasilkan adalah (Anonymous, 2013):



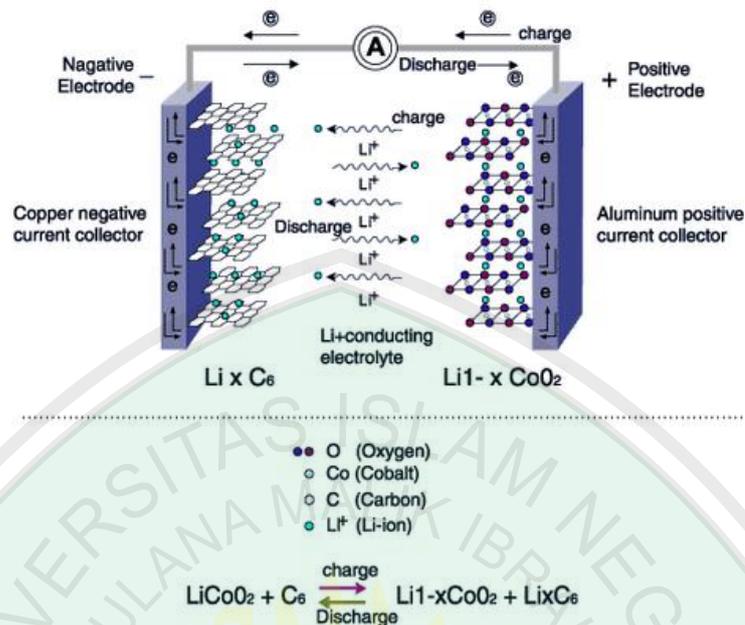
Potensial standar didapatkan dengan cara menghitung E yang lebih besar dikurangi E yang lebih kecil. Jadi,

$$E^0 = +0,34 \text{ V} - (-0,76 \text{ V}) = 1,10 \text{ V}$$

2.3 Baterai Ion Lithium

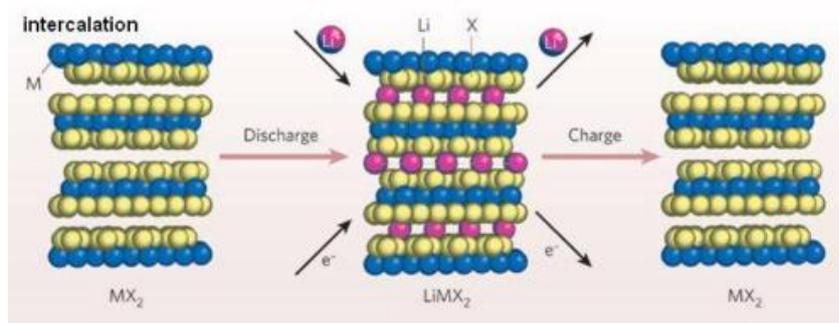
Baterai ion lithium merupakan salah satu jenis baterai sumber arus sekunder yang dapat diisi ulang dan merupakan baterai yang ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan yang berbahaya seperti baterai yang berkembang lebih dahulu yaitu baterai Ni-Cd dan Ni-MH. Kelebihan lainnya yaitu baterai ion lithium tidak mengalami *memory effect* sehingga dapat diisi kapan saja, waktu pengisian singkat (2-4 jam) karena arus pengisian baterai tertinggi (0,5 – 1 A), laju penurunan efisiensi baterai rendah (5 – 10% per bulan) serta lebih tahan lama (masa hidup 3 tahun) (Eriksson, 2001).

Baterai lithium secara teori adalah baterai yang digerakkan oleh ion lithium. Dalam kondisi *charge* dan *discharge* baterai lithium bekerja menurut fenomena interkalasi di Gambar 2.2, dimana ion lithium melakukan migrasi dari katoda lewat elektrolit ke anoda atau sebaliknya tanpa terjadi perubahan struktur kristal dari bahan katoda dan anoda (Munshi, 1995).



Gambar 2.2 Konsep kerja Baterai Lithium (Wiryawan, 2015)

Jenis baterai ion lithium pertama kali diperkenalkan oleh peneliti dari Exxon yang bernama M. S. Whittingham yang melakukan penelitian dengan judul “*Electrical Energy Storage and Intercalation Chemistry*” pada tahun 1970. Beliau menjelaskan mengenai proses interkalasi pada baterai litium ion menggunakan titanium (II) sulfide sebagai katoda dan logam litium sebagai anoda. Proses interkalasi adalah proses perpindahan ion lithium dari anoda ke katoda dan sebaliknya pada baterai lithium ion (Sari, 2015).

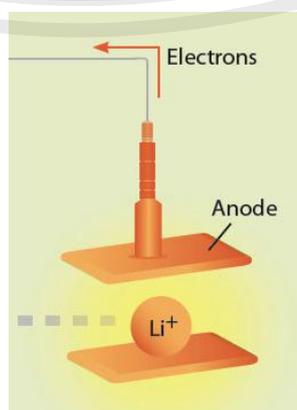


Gambar 2.3 Proses interkalasi ion lithium pada baterai lithium ion (Wiryawan, 2015)

Konfigurasi dasar suatu sel baterai tunggal terdiri dari 3 bagian yaitu: elektroda anoda, elektrolit, dan elektroda katoda (Linden, 1994).

1. Anoda

Anoda adalah elektroda negatif yang berkaitan dengan reaksi oksidasi setengah sel yang melepaskan elektron ke dalam sirkuit eksternal. Anoda berfungsi sebagai tempat pengumpulan ion lithium serta merupakan tempat bagi material aktif, dimana lembaran pada anoda biasanya berupa lembaran (Cu foil). Material yang dapat dipakai sebagai anoda harus memiliki karakteristik antara lain memiliki kapasitas energi yang besar, memiliki profil kemampuan menyimpan dan melepas muatan/ion yang baik, memiliki tingkat siklus pemakaian yang lama, mudah untuk diproses, aman dalam pemakaian (tidak mengandung racun) dan harganya murah. Salah satu material yang dapat berperan sebagai anoda adalah material yang berbasis karbon seperti grafit (LiC_6). Material aktif lain yang dapat digunakan sebagai anoda antara lain lithium titanium oxide (LTO). Material ini aman dipakai serta memiliki tingkat siklus pemakaian yang cukup lama (Sari, 2015).



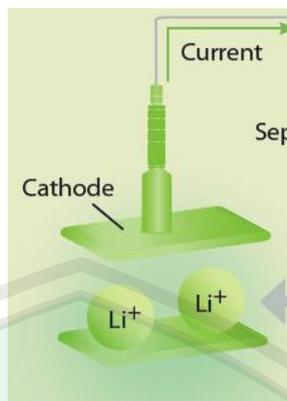
Gambar 2.4 Ilustrasi Anoda (Wahyudi, 2012)

Tabel 2.1 Beberapa material yang digunakan untuk anoda (Gritzner, 1993).

Anoda	Beda Potensial rata-rata (V)	Kapasitas Spesifik (mAh/g)	Energi Spesifik (kWh/Kg)
Grafit (LiC_6)	0,1-0,2	372	0,0372-0,0744
Titanate ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)	1-2	160	0,16-0,32
Si ($\text{Li}_4, 4\text{Si}$)	0,5-1	4212	2,106-4,212
Ge ($\text{Li}_4, 4\text{Ge}$)	0,7-1,2	1624	1,137-1,949

2. Katoda

Katoda adalah elektroda positif dimana terjadi reaksi setengah sel lainnya, yaitu reaksi reduksi yang menerima elektron dari sirkuit luar sehingga reaksi kimia reduksi terjadi pada elektroda ini. Pada dasarnya katoda merupakan elektroda yang fungsinya sama seperti anoda yaitu berfungsi sebagai tempat pengumpulan ion lithium serta merupakan tempat bagi material aktif, dimana lembaran pada katoda biasanya adalah aluminium (Al Foil). Beberapa karakteristik yang harus dipenuhi suatu material yang digunakan sebagai katoda antara lain material tersebut terdiri dari ion yang mudah melakukan reaksi reduksi dan oksidasi, memiliki konduktivitas yang tinggi seperti logam, memiliki kerapatan energi yang tinggi, memiliki kapasitas energi yang tinggi, memiliki kestabilan yang tinggi (tidak mudah berubah strukturnya atau terdegradasi baik saat pemakaian maupun pengisian ulang), harganya murah dan ramah lingkungan (Sari, 2015).



Gambar 2.5 Ilustrasi Katoda (Wahyudi, 2012)

Tabel 2.2 Beberapa jenis material yang digunakan untuk katoda (Gritzner, 1993).

Material	Beda potensial rata-rata (V)	Kapasitas spesifik (mAh/g)	Energi spesifik (kWh/kg)
LiCoO_2	3,7	140	0,518
LiMn_2O_4	4,0	100	0,400
LiNiO_2	3,5	180	0,360
LiFePO_4	3,3	150	0,495
$\text{LiCo}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$	3,6	160	0,576

3. Elektrolit

Komponen elektrolit berfungsi sebagai material yang mampu menjadi penghubung reaksi. Karakteristik yang perlu dimiliki elektrolit adalah konduktivitas ionik tinggi dan sekaligus konduktivitas elektronik yang rendah sehingga mampu menghantarkan ion selama proses reaksi redoks terjadi antara elektroda positif dan elektroda negatif tanpa terjadi kebocoran arus elektron.

Elektrolit memegang peranan yang penting dalam mendesain sel baterai. Elektrolit merupakan suatu material yang bersifat penghantar ionik, baik dalam bentuk cair ataupun padat. Kebanyakan baterai menggunakan elektrolit cair namun ada juga yang menggunakan elektrolit padat. Elektrolit padat menunjukkan kestabilan pada suhu tinggi, *self-discharge* rendah dan memiliki resistansi listrik

yang baik. Tabel 2.3 menunjukkan perbandingan elektrolit cair dan elektrolit padat (A.D. Little, 1998).

Elektrolit padat memiliki beberapa kelemahan diantaranya aliran arus rendah (dalam skala mikroampere), kemampuannya menurun pada temperatur rendah dan sangat rentan terhadap hubungan singkat yang dapat menyebabkan hilangnya energi (A.D. Little, 1998).

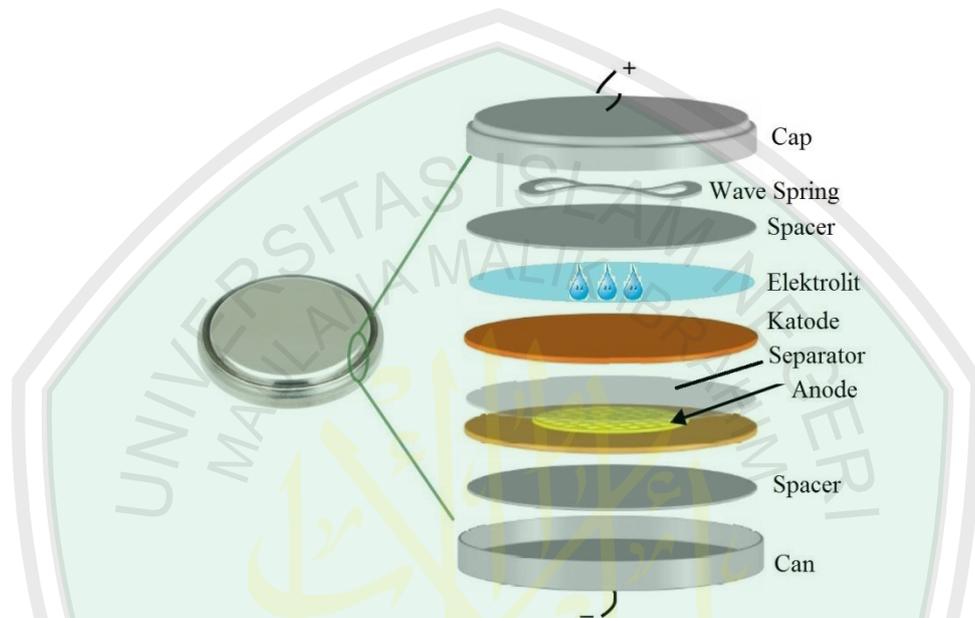
Tabel 2.3 Perbandingan Elektrolit Cair Dan Elektrolit Padat (Prihandoko, 2010)

Sifat	Elektrolit Cair	Elektrolit Padat
Material	<u>Konduktor</u> garam: LiClO ₄ , LiCF ₃ SO ₃ . <u>Larutan</u> : PC, EC, <u>Pengurangan viskositas</u> : DME, DMC, DEC	LiTaO ₃ , SrTiO ₃ , Li ₂ O, Li _{1,3} Al _{0,3} Ti _{1,7} (PO ₄) ₃ , LiTi ₂ (PO ₄) ₃ , Li ₄ SiO ₄ , Li ₃ PO ₄ , LiCl, LiBr, LiI
Mekanisme Konduksi ion	Ion Li ⁺ dalam larutan organik	Cacat transport pada kisi zat padat,
Konduktifitas ionik	10 ⁻³ ... 10 ⁻² S/cm	10 ⁻⁹ ... 10 ⁻³ S/cm
Kebocoran elektronik	Tergantung pada impuritas dan disosiasi kimia	10 ⁻¹⁰ S/cm
Stabilitas kimia	Sangat buruk	Sangat baik
Pembuatan	Mahal, larutan beracun, rentan meledak	Baik, tidak mengandung racun, <i>Sputtering</i> untuk film tipis, Keramik <i>sintering</i> , atau pasta untuk aplikasi lain

4. Separator

Komponen separator berfungsi sebagai *barrier* antara elektroda untuk menjamin tidak terjadinya hubungan pendek yang bisa menyebabkan kegagalan dalam baterai. Separator dapat berupa elektrolit yang berbentuk gel, atau plastik film *microporous* (nano pori), atau material *inert* berpori yang diisi dengan

elektrolit cair. Sifat listrik separator ini mampu dilewati oleh ion tetapi juga mampu memblokir elektron, jadi bersifat konduktif ionik sekaligus tidak konduktif elektron.

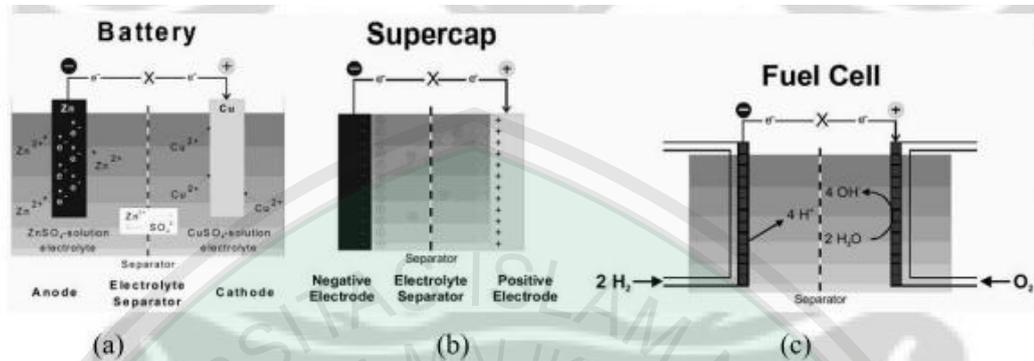


Gambar 2.6 Susunan komponen baterai

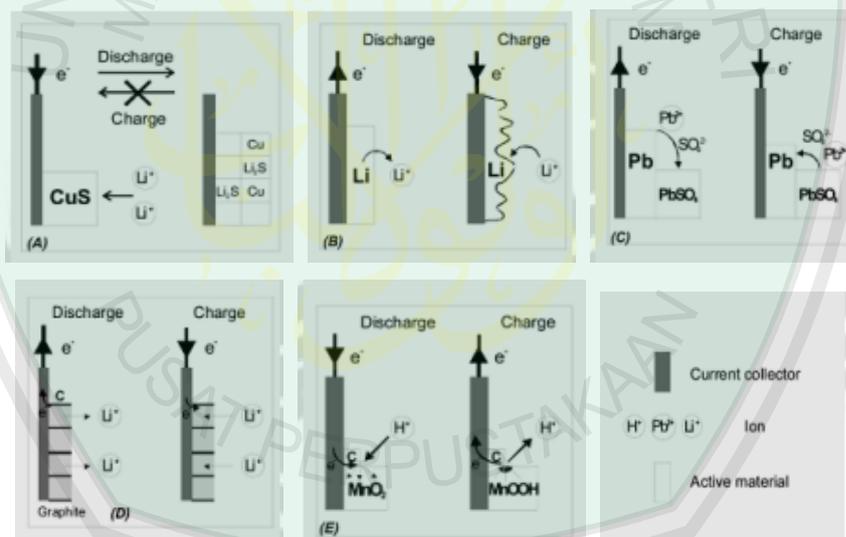
Reaksi sel elektrokimia meliputi reaksi reduksi dan reaksi oksidasi. Sel elektrokimia digunakan untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik atau sebaliknya. Dalam sebuah sel, energi listrik dihasilkan dengan jalan pelepasan elektron pada suatu elektroda (oksidasi) dan penerimaan elektron pada elektroda lainnya (reduksi).

Suatu sistem sel elektrokimia yang berfungsi sebagai penyimpan dan pengkonversi energi dapat meliputi: baterai, *fuel cell*, dan *double layer capacitor* (*electrochemical capacitor/EC*). Baterai lithium seperti digambarkan dalam Gambar 2.8 adalah baterai yang tersusun dari sel elektrokimia yang mampu menyimpan dan menghasilkan konversi dari reaksi kimia tidak spontan (reduksi

oksidasi/redoks) menjadi energi listrik (Martin, 2004).



Gambar 2.7 Tiga buah sel elektrokimia yang berfungsi sebagai penyimpan dan konversi energi listrik, (a) sel baterai, (b) superkapasitor, dan (c) sistem *fuel cell* (Martin, 2004)

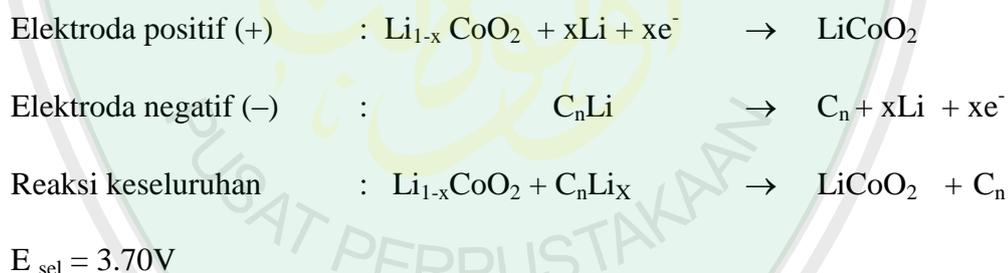


Gambar 2.8 Skematik proses *discharge* dan *charge* yang terjadi pada elektroda baterai primer dan sekunder. (a) skematik *discharge* baterai primer, (b)-(e) skematik proses redoks dalam baterai sekunder (Martin, 2004)

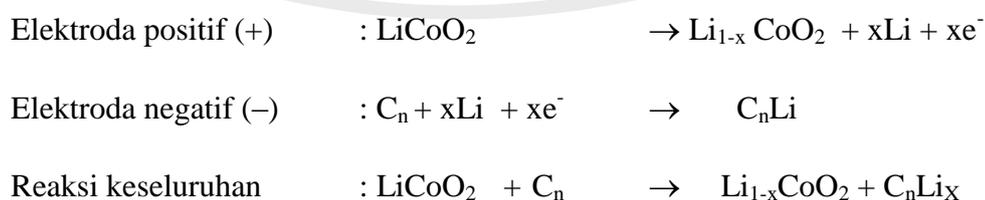
Baterai lithium termasuk dalam kategori baterai sekunder atau *rechargeable battery*, maka baik reaksi reduksi maupun oksidasi terjadi ketika sedang diisi muatan listrik (*charge*) dan ketika dikosongkan/dilepaskan muatan listrik (*discharge*). Sebelum digunakan, baterai lithium biasanya terlebih dahulu di

charge, yang berarti bahwa aliran elektron dari sumber tegangan mengalir dari katoda ke anoda. Untuk kesetimbangan muatan, ion-ion lithium dari katoda mengalir melalui elektrolit dan separator menuju kutub anoda hingga kondisi ekuilibrium tercapai (baterai 100% *charged*). Ketika baterai lithium dipakai, kondisi sebaliknya terjadi. Muatan listrik dalam bentuk elektron mengalir dari kutub anoda melalui beban (*load*) ke kutub katoda. Untuk mengimbangi pergerakan ini, ion-ion lithium yang berasal dari kutub anoda mengalir melalui elektrolit dan menembus pori-pori separator menuju kutub katoda. Kejadian ini terus menerus terjadi hingga seluruh muatan ion di katoda habis atau mengalami kesetimbangan muatan. Setelah baterai kosong/habis, proses *charging* kembali dilakukan.

a) *Discharging* (pemakaian) :



b) *Charging* (pengisian ulang) :



Dimana x menyatakan jumlah ion litium yang berpindah dari LiCoO_2 ke grafit.

2.4 Karbon

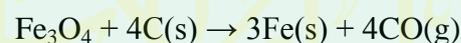
Karbon atau zat arang merupakan unsur kimia yang mempunyai simbol C dan nomor atom 6 pada tabel periodik. Sebagai unsur golongan 14 pada tabel periodik, karbon merupakan unsur non-logam dan bervalensi 4 (tetravalen), yang berarti bahwa terdapat empat elektron yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Terdapat tiga macam isotop karbon yang ditemukan secara alami, yakni ^{12}C dan ^{13}C yang stabil, dan ^{14}C yang bersifat radioaktif dengan waktu paruh peluruhannya sekitar 5730 tahun. Karbon merupakan salah satu dari di antara beberapa unsur yang diketahui keberadaannya sejak zaman kuno. Istilah "karbon" berasal dari bahasa Latin *carbo*, yang berarti batu bara (Sakti, 2015).

2.4.1 Karakteristik Karbon

Karbon memiliki berbagai bentuk alotrop yang berbeda-beda, meliputi intan yang merupakan bahan terkeras di dunia sampai dengan grafit yang merupakan salah satu bahan terluak. Karbon juga memiliki afinitas untuk berikatan dengan atom kecil lainnya, sehingga dapat membentuk berbagai senyawa dengan atom tersebut. Oleh karenanya, karbon dapat berikatan dengan atom lain (termasuk dengan karbon sendiri) membentuk hampir 10 juta jenis senyawa yang berbeda. Karbon juga memiliki titik lebur dan titik sublimasi yang tertinggi di antara semua unsur kimia. Pada tekanan atmosfer, karbon tidak memiliki titik lebur karena titik tripelnya ada pada $10,8 \pm 0,2$ MPa dan 4600 ± 300 K, sehingga ia akan menyublim sekitar 3900 °K (Sakti, 2015).

Karbon dapat menyublim dalam busur karbon yang memiliki temperatur sekitar 5800 °K, sehingga tak peduli dalam bentuk alotrop apapun, karbon akan tetap berbentuk padat pada suhu yang lebih tinggi daripada titik lebur logam tungsten ataupun renium. Walaupun karbon secara termodinamika mudah teroksidasi, karbon lebih sulit teroksidasi daripada senyawa lainnya (seperti besi dan tembaga) (Sakti, 2015).

Pada temperatur yang tinggi, karbon dapat bereaksi dengan oksigen, menghasilkan oksida karbon oksida dalam suatu reaksi yang mereduksi oksida logam menjadi logam. Reaksi ini bersifat eksotermik dan digunakan dalam industri besi dan baja untuk mengontrol kandungan karbon dalam baja (Sakti, 2015):



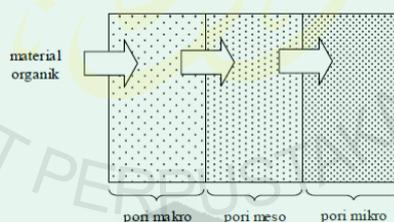
2.4.2 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah karbon yang diolah lebih lanjut pada suhu tinggi sehingga pori-porinya terbuka dan dapat digunakan sebagai adsorben (Pari, 2002). Karbon aktif dapat berupa serbuk, butiran dan lempengan yang terbuat dari karbon *amorph* dengan karakteristik dengan luas permukaan per unit volume (Parker, 1993). Karbon aktif mampu mengadsorpsi gas maupun cairan, untuk mengadsorpsi fasa cair karbon aktif yang digunakan umumnya memiliki daerah pori sekitar 3nm atau lebih, sedangkan untuk mengadsorpsi fasa gas memiliki diameter lebih kecil dari 3nm (Kirk, 1983).

Pembuatan karbon aktif dilakukan dengan proses dehidrasi, karbonisasi dan dilanjutkan dengan proses aktivasi material karbon yang biasanya berasal dari

tumbuh-tumbuhan. Proses karbonisasi dilakukan dengan pembakaran dari material yang mengandung karbon dan dilakukan tanpa adanya kontak langsung dengan udara (Marsh, 2006). Proses karbonisasi juga dikenal dengan pirolisis yang didefinisikan sebagai suatu tahapan dimana material organik awal ditransformasikan menjadi sebuah material yang semuanya berbentuk karbon (Hugh, 1993). Proses karbonisasi dilanjutkan dengan proses aktivasi dimana proses ini akan mengubah produk atau material karbon menjadi adsorben. Adsorben mempunyai porositas yang tinggi dengan luas permukaan yang besar yaitu 500-1500 m²/gr (Parker, 1993).

Pada proses adsorpsi oleh karbon aktif, molekul gas atau cair akan diikat secara fisik pada permukaan karbon aktif. Proses adsorpsinya melalui tiga tahapan seperti terlihat pada Gambar 2.9, yaitu (Pujiyanto, 2010):



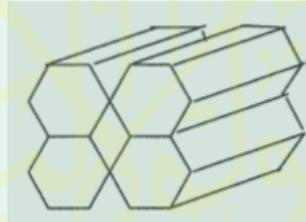
Gambar 2.9 Tahapan proses Adsorpsi (Pujiyanto, 2010)

Grafrit adalah satu inti karbon yang merupakan konduktor listrik yang bisa digunakan sebagai material elektroda pada sebuah lampu listrik. Bahan grafit mempunyai keistimewaan seperti sifat mekanis seperti logam, ringan dan mempunyai sifat yang baik serta dari segi ekonomi bahan dasar grafit buatan tersedia melimpah dan murah (Arif, 2007).

Ada tiga persyaratan dasar untuk bahan anoda:

- 1) Potensial dari interkalasi dan deinterkalasi dari Li^+/Li harus serendah mungkin.
- 2) Jumlah lilitan yang dapat ditampung anoda harus setinggi mungkin untuk mencapai kapasitas yang tinggi.
- 3) *Host* pada anoda harus dapat bertahan pada proses interkalasi dan deinterkalasi ion lithium tanpa adanya kerusakan struktur pada siklus penggunaan yang relatif panjang.

Dengan kristal strukturnya yang hexagonal, seperti di Gambar 2.10, grafit mempunyai *host* interkalasi dalam satu dimensi (Prihandoko, 2010).

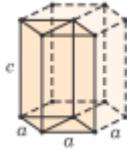
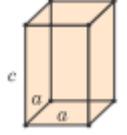
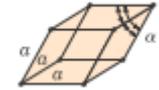
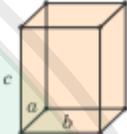
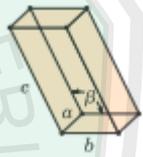
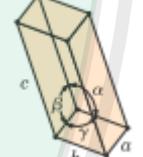


Gambar 2.10 Skematis host interkalasi dari Grafit (Prihandoko, 2010)

Grafit mempunyai kemampuan yang cukup tinggi dalam perannya sebagai anoda dan lebih baik dibandingkan dengan logam lithium. Selain itu grafit merupakan bahan alam yang cukup murah (Prihandoko, 2010).

Tabel 2.4 *Lattice Parameter Relationships and Figures Showing Unit Cell Geometries for the Seven Crystal Systems* (Callister, 2007)

<i>Crystal System</i>	<i>Axial Relationship</i>	<i>Interaxial Angles</i>	<i>Unit Cell Geometry</i>
<i>Cubic</i>	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	A 3D diagram of a cubic unit cell. The three edges of the cube are labeled with the letter 'a', indicating that all three axes have equal lengths. The cube is drawn in a perspective view.

<i>Hexagonal</i>	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
<i>Tetragonal</i>	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
<i>Rhombohedral (Trigonal)</i>	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
<i>Orthorombic</i>	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
<i>Monoclinic</i>	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
<i>Ticlinic</i>	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	

Grafrit berstruktur lapisan yang terdiri atas cincin atom karbon beranggotakan 6 yang mirip cincin benzen yang terkondensasi tanpa atom hidrogen (Gambar 2.11). Jarak karbon-karbon dalam lapisan adalah 142 pm dan ikatannya memiliki karakter ikatan rangkap analog dengan senyawa aromatik. Karena jarak antar lapisan adalah 335 pm dan lapis-lapis tersebut diikat oleh ikatan yang relatif lemah yakni gaya van der Waals, lapisan-lapisan ini dengan mudah akan saling menggelincir bila dikenai gaya. Hal inilah yang merupakan asal mula sifat pelumasan grafit. Berbagai molekul, seperti logam alkali, halogen, halida logam, dan senyawa organik dapat menginterkalasi lapisan grafit dan

membentuk senyawa interkalasi. Grafit memiliki sifat semi-logam, konduktivitasnya ($10^{-3} \Omega\text{cm}$ paralel dengan lapisan dan hantarnya sekitar 100 kali lebih kecil dalam arah tegak lurus lapisan) (Saito, 1996: 63).



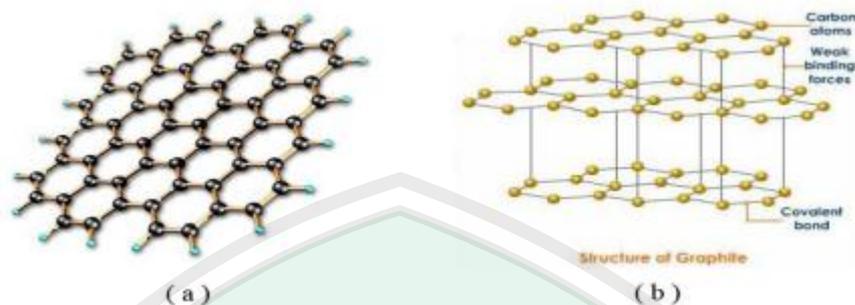
Gambar 2.11 Struktur Grafit (Saito, 1996: 63)

Karbon grafit ditemukan memiliki dimensi yang stabil untuk proses interkalasi dan deinterkalasi pada atom lithium. Oleh karena itu, grafit menjadi bahan anoda pilihan untuk baterai lithium.

Ada ratusan jenis karbon yang tersedia secara komersil, termasuk karbon alam dan grafit sintesis, karbon hitam, karbon aktif, serat karbon, kokas dan berbagai bahan karbon lainnya. Untuk membuat bahan menjadi anoda baterai maka diperlukan bahan yang dapat membentuk struktur kristal (Sari, 2015).

1. Grafit Alam

Grafit alam adalah karbon yang telah memiliki struktur kristal dan tersusun dari atom karbon yang membentuk struktur 3 dimensi (3D). Material ini dapat kita jumpai diisi pensil yang sering kita pakai untuk menulis. Ketika kita menulis, maka grafit tersebut akan rapuh dan membuat suatu jenis material lebih sederhana yang dikenal dengan grephene. Struktur dari grafit dan grephene dapat dilihat pada gambar berikut (Sari, 2015).



Gambar 2.12 (a) struktur *grephene* berupa lapisan dengan ketebalan 1 atom C (b)struktur grafit yang terdiri dari lapisan *grephene* (Buchmann, 2001)

Sekarang grafit alam merupakan salah satu kandidat yang paling menjanjikan sebagai bahan anoda baterai ion lithium, alasannya karena biaya rendah, potensial listrik rendah, kepadatan energi yang lebih tinggi, dan kapasitas reversibel relatif tinggi (330-3500 mAh/g) (Yoshio, 2009).

2. Grafit Sintesis

Grafit sintesis pada dasarnya memiliki sifat yang sama seperti grafit alam. Selain itu, grafit sintetis memiliki kemurnian yang tinggi, memiliki stuktur yang cocok untuk proses interkalasi dan diinterkalasi ion lithium. Namun, grafit sintesis memiliki sebuah kekurangan yaitu struktur kristalnya berbentuk amorf sehingga untuk membuatnya memiliki struktur kristal menggunakan biaya yang tinggi karena memerlukan perlakuan pada suhu ($>2.800^{\circ}\text{C}$) pada proses grafitisasinya (Yoshio,2009). Saat ini dikenal sebagai jenis dari grafit sintesis yaitu MCMB (*Mesocarbon Microbead*), MCF (*Mesophase-pitch-based Carbon Fiber*), VGCF (*Vapour Grown Carbon Fiber*) (Yoshio, 2009).

Teknik pelapisan yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti prosedur dalam jurnal karya Zhiyong Liang, 2013 dimana sampel grafit terlapsi karbon

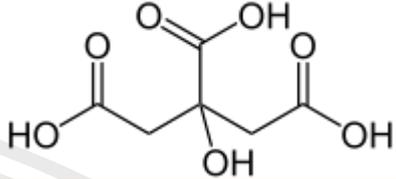
asam sitrat disintesis dengan metode karbonisasi. Pertama-tama, sejumlah etanol ditambahkan dalam glass beaker dengan magnetic stirrer di dalamnya. Kedua, grafit (10 gr) dengan rasio grafit: *Citric acid* = 1:1 ditambahkan ke larutan etanol. Maka dipanaskan pada suhu 80 °C di bawah pengadukan konstan 200 rpm untuk menghilangkan kelebihan air sampai larutan menjadi gel. Setelah pengeringan dalam oven pada suhu 80 °C selama 72 jam, gel itu panaskan di furnace pada suhu 350 °C selama 4 jam agar sampel terdegradasi. Akhirnya, sampel dilakukan proses sintering pada berbagai suhu (500 °C, 600 °C, dan 700 °C) selama 5 jam di bawah atmosfer yang sama. Sebagai perbandingan, grafit bebas karbon juga disiapkan.

2.5 Asam Sitrat

Asam sitrat merupakan asam organik lemah yang ditemukan pada daun dan buah tumbuhan genus *Citrus* (jeruk-jerukan). Senyawa ini merupakan bahan pengawet yang baik dan alami, selain digunakan sebagai penambah rasa masam pada makanan dan minuman ringan. Dalam biokimia, asam sitrat dikenal sebagai senyawa antara dalam siklus asam sitrat yang terjadi di dalam mitokondria, yang penting dalam metabolisme makhluk hidup. Zat ini juga dapat digunakan sebagai zat pembersih yang ramah lingkungan dan sebagai antioksidan (Wikipedia, 2014).

Rumus kimia asam sitrat adalah $C_6H_8O_7$ (strukturnya ditunjukkan pada tabel informasi di sebelah kanan). Struktur asam ini tercermin pada nama IUPAC-nya, asam 2-hidroksi-1,2,3-propanatrikarboksilat (Wikipedia, 2014).

Tabel 2.5 Sifat-sifat Asam Sitrat (Wikipedia, 2014)

Umum	
Nama	Asam sitrat
	
Rumus kimia	$C_6H_8O_7$, atau: $CH_2(COOH) \cdot COH(COOH) \cdot CH_2(COOH)$
Bobot rumus	192,13 u
Nama lain	Asam propanatrikarboksilat 2-hidroksi-1,2,3-
Sifat Perubahan Fase	
Titik lebur	426 K (153 °C)
Temperatur penguraian termal	448 K (175 °C)

Pada temperatur kamar, asam sitrat berbentuk serbuk kristal berwarna putih. Serbuk kristal tersebut dapat berupa bentuk *anhydrous* (bebas air), atau bentuk monohidrat yang mengandung satu molekul air untuk setiap molekul asam sitrat. Bentuk *anhydrous* asam sitrat mengkristal dalam air panas, sedangkan bentuk monohidrat didapatkan dari kristalisasi asam sitrat dalam air dingin. Bentuk monohidrat tersebut dapat diubah menjadi bentuk *anhydrous* dengan pemanasan di atas 74 °C (Wikipedia, 2014).

Secara kimia, asam sitrat bersifat seperti asam karboksilat lainnya. Jika dipanaskan di atas 175 °C, asam sitrat terurai dengan melepaskan karbon dioksida dan air (Wikipedia, 2014).

2.6 Komponen Tambahan Penyusun Anoda Baterai

Semakin besar komposisi bahan aktif mengisi volume baterai, semakin besar pula kekuatan yang diperoleh. Dengan demikian setiap komponen selain

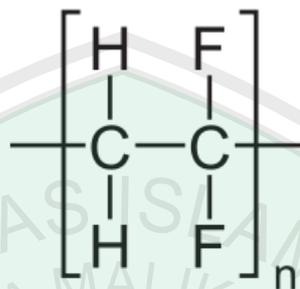
dari material aktif, seperti binder, elektroda (Cu-foil) dan aditif konduktif harus dikurangi sebanyak mungkin (Sari, 2015).

2.6.1 Binder PVDF (*poly vinylidene fluoride*)

Binder adalah bagian penting dari formulasi elektroda pada baterai ion lithium karena binder mempertahankan struktur fisik elektroda, tanpa binder elektroda akan berantakan (Fabrice et al, 2010). Sangat diharapkan bahwa binder memiliki titik leleh yang tinggi, dan struktur komposit dari material aktif dan binder harus stabil didalam elektrolit, bahkan disuhu tinggi. Jika binder mengembang dalam elektrolit melebihi ambang batas, kontak listrik antara material aktif dan anoda akan hilang, maka pada saat itu kapasitas pun akan mengecil. Potensi kelemahan dari binder yaitu binder mungkin saja melapisi permukaan material aktif. Jadi sangat penting bahwa ion lithium dapat melewati bahan pengikat. Wilayah amorf di PVDF (*poly vinylidene fluoride*) adalah matrik yang baik untuk molekul polar, dan ion lithium dapat melewati lapisan tipis PVDF (Tsunemi, K et al, 1983). Akhirnya, jika binder bisa menghantarkan listrik dengan baik, kinerja baterai akan lebih meningkat.

PVDF memiliki properti yang baik, PVDF tidak tereduksi pada potensial rendah (5 mV vs Li/Li⁺) atau teroksidasi pada potensial tinggi (5 V vs Li/Li⁺) (Fabrice, M et al, 2010). Karakteristik penting dari PVDF adalah kristalinitasnya. PVDF memiliki beberapa bentuk Kristal. XRD menunjukkan bahwa sekitar 50% PVDF memiliki struktur form dan sisanya adalah amorf. Karakteristik lain yang penting dari PVDF yaitu dielektriknya. Karena dielektrik ini momen dipol di wilayah amorf akan bergerak dengan mudah di sepanjang arah medan listrik yang

diterapkan. Konstanta dielektrik PVDF adalah yang tertinggi antara polimer (Tsunemi et al, 1983).



Gambar 2.13 Struktur PVDF (Sari, 2015)

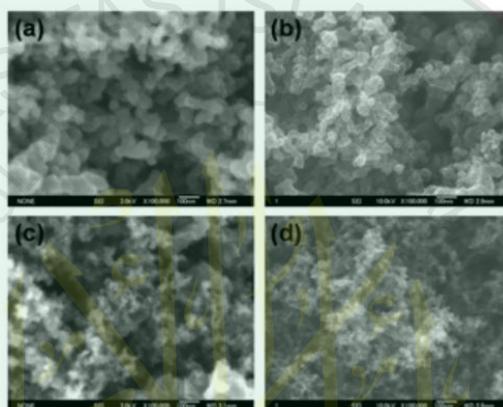
2.6.2 Zat Aditif *Acetylene Black*

Acetylene Black adalah karbon *black* yang dihasilkan dari dekomposisi terus menerus gas asetilena. *Acetylene black* terdiri dari partikel karbon *black* berukuran koloid, dan memiliki sifat unik seperti konduktivitas listrik yang baik, kapasitas absorpsi yang tinggi, konduktivitas termal yang baik dan lain-lain. Karakteristik berikut setiap partikel *acetylene black* terdiri dari (Sari, 2015):

1. Komposisi kristal yang besar
2. Membentuk struktur panjang
3. Memiliki impuritas yang paling sedikit dari karbon hitam lainnya

Oleh karena itu *acetylene black* telah digunakan sebagai bahan dasar untuk memproduksi sel baterai kering, serta sebagai zat aditif dalam karet atau plastik bahan antistatik dan elektrik konduktif yang digunakan dalam berbagai bidang industri, seperti kabel listrik, ban, sabuk, selang, pemanas, cat, perekat, dan banyak alat elektronik lainnya (Sari, 2015).

Penggunaan *acetylene black* didalam baterai memiliki beberapa keunggulan yaitu dari absorpsi yang tinggi dan bersifat konduktif sehingga *acetylene black* digunakan untuk mempertahankan larutan elektrolit dalam banyak baterai kering dan meningkatkan konduktivitas listrik dari elektroda baterai (Safety data sheet, 2002).



Gambar 2.14 SEM images of the as-received acetylene blacks: (a) LAB, (b) OLAB, (c) SAB, and (d) OSAB (Kim, 2007)

2.6.3 Pelarut DMAC (*N-N Dimethyl Acetamide*)

DMAC adalah pelarut industri yang kuat dan serbaguna yang memiliki kelarutan terhadap bahan organik dan anorganik yang tinggi, titik didih tinggi, titik beku yang rendah, dan stabilitas yang baik. Selain itu DMAC tidak reaktif dalam reaksi kimia (Sari, 2015).

DMAC memiliki konstanta dielektrik yang tinggi, DMAC benar-benar larut dalam air, eter, ester, keton dan senyawa aromatik. DMAC umumnya larut dalam senyawa alifatik tidak jenuh. DMAC kestabilan yang bagus, pada dasarnya DMAC tidak akan mengalami degradasi dan perubahan warna jika dipanaskan di bawah suhu 350 °C (Sari, 2015).

2.6.4 Copper Foil (Cu- Foil)

Copper Foil (Cu-Foil) adalah lembaran berwarna kuning keemasan yang digunakan sebagai tempat menempelnya material aktif anoda baterai ion lithium. Lembaran untuk anoda menggunakan Cu-*Foil* sebagai substrat anoda memiliki sifat yang lebih baik seperti (Sari, 2015):

1. Konduktivitas listrik yang lebih baik dan resistivitas yang kecil.
2. Kekuatan mekanik yang lebih baik dan ketangguhan untuk menghindari hubungan pendek yang disebabkan oleh pertumbuhan dendrit.
3. Kekuatan lapisan yang lebih baik dengan bahan elektroda.

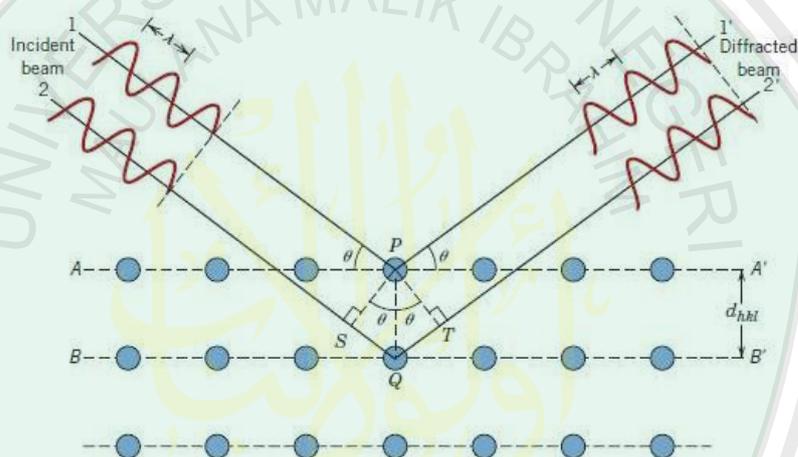


Gambar 2.15 *Electrodeposited Copper Foil For Lithium-Ion Batteries* (Furukawa, 2011)

2.7 XRD

Karakterisasi XRD bertujuan untuk menentukan sistem kristal. Metode difraksi sinar-X dapat menerangkan parameter kisi, jenis struktur, susunan atom yang berbeda pada kristal, adanya ketidaksempurnaan pada kristal, orientasi, butir-butir dan ukuran butir Sinar-X (Smallman, 1991).

Suatu kristal yang dikenai oleh sinar-X tersebut berupa material (sampel), sehingga intensitas sinar yang ditransmisikan akan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Berkas sinar-X yang dihamburkan ada yang saling menghilangkan (interferensi destruktif) dan ada juga yang saling menguatkan (interferensi konstruktif). Interferensi konstruktif ini merupakan peristiwa difraksi seperti pada Gambar 2.16 (Grant & Suryanayana, 1998).



Gambar 2.16 Ilustrasi difraksi sinar-X pada XRD (Saryanto, 2013)

2.8 SEM

SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah alat yang digunakan untuk mempelajari morfologi permukaan/ukuran butiran. Pengamatan morfologi permukaan dalam 3 dimensi, resolusi tinggi dan analisa kimia.

Prinsip kerja SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah sebagai berikut:

1. *Electron Gun* (Sumber Elektron/Penembak elektron)

Penembak elektron terdiri dari filamen Tungsten, penembak elektron ini digunakan untuk menghasilkan elektron dalam suatu volum tertentu dengan energi yang dapat ditentukan dengan mengatur arus listrik ke filamen sehingga terjadi pelepasan elektron.

2. *Demagnetification System* (Perangkat Demagnetisasi)

Perangkat Demagnetisasi terdiri dari gabungan lensa-lensa elektromagnetik yang digunakan untuk memfokuskan E-Beam menjadi sangat kecil pada saat mencapai sampel.

3. *Scan Unit* (Sistem Pelarikan)

Pembentukan gambar dengan menggunakan prinsip *Scanning*, dimana elektron diarahkan ke objek, gerakan berkas tersebut mirip dengan “Gerakan Membaca”. *Scan unit* dibangkitkan oleh *scanning coil*, sedangkan hasil interaksi berkas elektron dengan sampel menghasilkan *Secondary Electron* (SE) dan elektron *Backs Scattered* (BSc), diterima detektor SE/BSc, diubah menjadi sinyal, data sinyal diperkuat oleh Video Amplifier kemudian disinkronkan oleh *scanning circuit* terbentuklah gambar pada Tabung Sinar Katoda (CRT) (Sinuhaji P., Marlianto E., 2012).

2.9 Voltametri Siklik

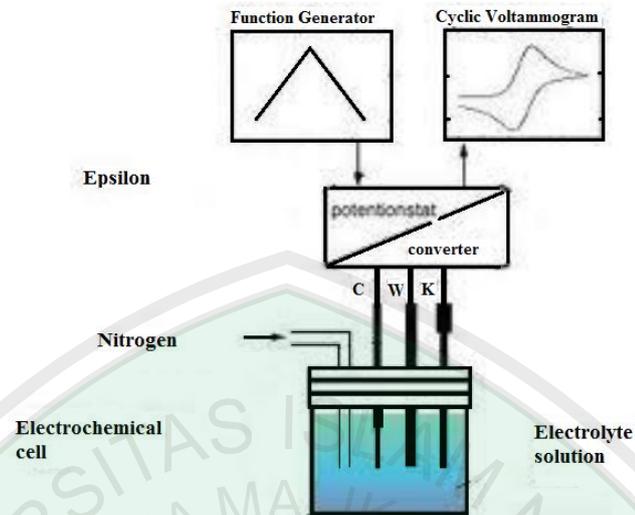
Voltametri merupakan salah satu teknik dalam analisis elektrokimia. Voltametri adalah suatu elektrolisis dimana arus direkam sebagai suatu fungsi potensial elektroda kerja. Voltametri merupakan elektrolisis dalam ukuran mikroskala dengan menggunakan mikro elektroda kerja, disebut juga teknik arus voltase. Voltametri berkembang pesat dibanding metode analisis lain, hal ini

dikarenakan kelebihan dalam sensitifitas, selektifitas, kesederhanaan dan kemudahan penganalisan (Haryadi, 1993).

Potensial divariasikan secara sistematis sehingga zat kimia tersebut, mengalami oksidasi dan reduksi dipermukaan elektroda. Dalam voltametri, salah satu elektroda pada sel elektrolitnya terpolarisasi. Proses pada sistem tersebut diikuti dengan kurva arus tegangan. Metode ini umum digunakan untuk menentukan komposisi dan analisis kuantitatif larutan (Laidler, 1996).

Sistem voltametri ada yang disebut dengan siklik voltametri. Voltametri ini merupakan teknik voltametri dimana arus diukur selama penyapuan potensial dari potensial awal ke potensial akhir dan kembali lagi potensial awal atau disebut juga penyapuan (*scanning*) dapat dibalik kembali setelah reduksi berlangsung. Dengan demikian arus katodik maupun anodik dapat terukur. Arus katodik adalah arus yang digunakan pada saat penyapuan dari arus yang paling besar menuju arus yang paling kecil dan arus anodik adalah sebaliknya (Khopkar, 1985).

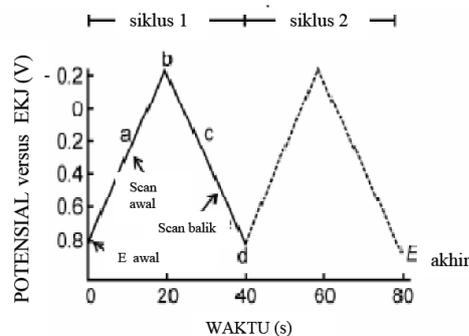
Voltametri siklik merupakan teknik voltametri dimana arus diukur selama penyapuan potensial dari potensial awal ke potensial akhir dan kembali lagi ke potensial awal atau disebut juga penyapuan (*scanning*) dapat dibalik kembali setelah reaksi berlangsung. Dengan demikian arus katodik maupun anodik dapat terukur. Arus katodik adalah arus yang digunakan pada saat penyapuan dari potensial yang paling besar menuju potensial yang paling kecil dan arus anodik adalah sebaliknya yaitu penyapuan dari potensial yang paling kecil menuju potensial yang paling besar (Scholz, 2010).



Gambar 2.17 Rangkaian alat Voltametri Siklik (Siti, 2010)

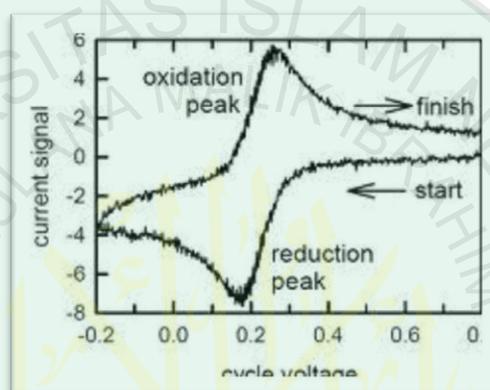
Voltametri siklik terdiri dari siklus potensial dari suatu elektroda yang dicelupkan ke dalam larutan yang tidak aduk yang mengandung spesies elektroaktif dan mengukur arus yang dihasilkan. Potensial pada elektroda kerja dikontrol oleh elektroda pembanding seperti elektroda kalomel jenuh (EKJ) atau perak/perak klorida. Potensial yang diterapkan pada dua elektroda dapat dianggap sebagai sinyal eksitasi.

Sinyal eksitasi untuk voltametri siklik adalah penyapuan potensial linear dengan gelombang segitiga seperti yang diberikan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Sinyal eksitasi untuk Voltametri Siklik (Scholz, 2010)

Voltamogram siklik diperoleh dengan mengukur arus pada elektroda kerja selama scan potensial. Arus dapat dianggap sebagai respon sinyal terhadap potensial eksitasi. Voltamogram yang dihasilkan merupakan kurva antara arus (pada sumbu vertikal) versus potensial (sumbu horizontal). Saat variasi potensial linear terhadap waktu, sumbu horizontal dapat dianggap sebagai sumbu waktu.



Gambar 2.19 Voltamogram Siklik reaksi reduksi oksidasi secara *Reversible* (Siti, 2010)

Suatu dari kegunaan teknik voltametri siklik ini adalah mampu memberikan informasi mengenai termodinamika proses reduksi-oksidasi dan kinetika transfer elektron yang terjadi dipermukaan elektroda. Selama pengukuran dengan voltametri siklik, akan diperoleh kurva antara arus dengan potensial yang dikenal sebagai voltamogram siklik dan adanya kemungkinan reaksi lain saat reduksi-oksidasi berlangsung dapat dilihat dari voltamogramnya (Sari, 2015).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan mulai bulan Januari 2016 di Laboratorium Baterai Lithium Indonesia Pusat Penelitian Fisika-LIPI Serpong, Tangerang Selatan. Penelitian dilakukan dari persiapan bahan sampai pembuatan baterai dan pengujian baterainya.

3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

3.2.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a) Aluminium foil
- b) Beaker glass
- c) Cawan
- d) Crucible
- e) Doctor Blade
- f) Dry box
- g) Furnace
- h) Gelas ukur
- i) Hot Plate
- j) Magnetic Stirrer
- k) Mortar dan Alu
- l) Oven

- m) Pengukur Ketebalan
- n) Spatula
- o) Timbangan digital
- p) Alat-alat lain (sendok, cutter, penggaris, dll)

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain:

- a) AB (*Acetylene Black*)
- b) Acetone
- c) Akuades
- d) Bahan Grafit
- e) Casing Baterai (*can dan cap*)
- f) *Citric acid*
- g) DMAC (*N-N Dimethyl Acetamid*)
- h) Elektrolit (LiPF_6)
- i) Etanol
- j) Katoda (*Lithium foil*)
- k) Lembar Tembaga (*Cu-Foil*)
- l) Separator (*PE/Polyethyllene*)
- m) Serbuk PVDF (*Polyvinylidene Fluoride*)
- n) Spacer
- o) *Wave spring*

3.3 Prosedur penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahap kegiatan atau pengerjaan yaitu sintesis grafit, karakterisasi material, pembuatan *slurry*, pembuatan lembaran, dan pengujian baterai.

3.3.1 Sintesis Grafit

- a) Bahan anoda berupa grafit komersial Linyi Gelon dan *Citric acid* sebagai pelapis grafit disiapkan dengan perbandingan komposisi 1:1. Kemudian etanol sebagai pelarut disiapkan sebanyak 50 mL,
- b) Etanol dan *Citric acid* dicampur di atas hot plate dengan temperatur 80 °C dan putaran sebesar 200 rpm. Setelah larutan homogen, grafit terlapis *Citric acid* dimasukkan ke dalam larutan selama ± 6 jam,
- c) Larutan diangkat dari hot plate dan dimasukkan ke dalam oven dengan temperatur 80 °C selama 3 hari untuk menghilangkan kadar air dalam bahan,
- d) Sampel dipindahkan dari oven dan dimasukkan ke dalam furnace dengan suhu 350 °C selama 5 jam agar bahan terdegradasi,
- e) Setelah itu dilakukan proses sintering menggunakan furnace dengan temperatur 500 °C selama 6 jam,
- f) Cara di atas diulangi dengan variasi temperatur sintering 600 °C dan 700 °C selama 6 jam.

3.3.2 Karakterisasi Material

- a) Sampel yang dibuat diuji material dengan *X-Ray Diffraction* (XRD, Rigaku) untuk diidentifikasi struktur kristal bahan grafit setelah dilapisi karbon amorf *Citric acid*.
- b) Hasil sintesis grafit yang dibuat diuji menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM, SU3500, Hitachi) untuk diamati morfologi dan ukuran butiran dari bahan.

3.3.3 Pembuatan *Slurry*

- a) Serbuk grafit terlapisi *Citric acid* (85%), PVDF (10%), AB (5%), dan DMAC (12 mL) ditimbang sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan,
- b) Hot plate dipanaskan dengan temperatur 70 °C dan putaran sebesar 150 rpm,
- c) Larutan DMAC dicampurkan dengan serbuk PVDF di dalam *beaker glass* sampai larutan jernih,
- d) Serbuk AB dimasukkan ke dalam larutan secara perlahan sampai tercampur secara merata,
- e) Grafit terlapisi *Citric acid* dimasukkan secara perlahan ke dalam larutan selama $\pm 1,5$ jam diatas hot plate sampai terbentuk *slurry* yang diinginkan.

3.3.4 Pembuatan Lembaran

- a) *Cu-foil* diletakkan di atas doctor blade dan divakumkan. Kemudian *Cu-foil* dibersihkan dengan aseton,
- b) Ketebalan doctor blade diukur dengan pisau doctor blade sebesar 0,2 mm,

- c) *Slurry* dituangkan di atas *Cu-foil* sedikit demi sedikit dan doctor blade dijalankan dengan kecepatan $\pm 6-7$ rpm sampai *Cu-foil* terlapisi oleh *slurry* secara sempurna,
- d) Lembaran anoda dikeringkan menggunakan dry box dengan temperatur sebesar 80°C sampai mengering (± 1 jam).



Gambar 3.1 Desain lembaran

3.3.5 *Calendering* dan *Cutting* Lembaran Anoda

Lembaran anoda yang sudah kering dilakukan proses *calendering* dan dipotong kecil dengan ukuran seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Desain lembaran Anoda

3.3.6 *Asembly* Baterai

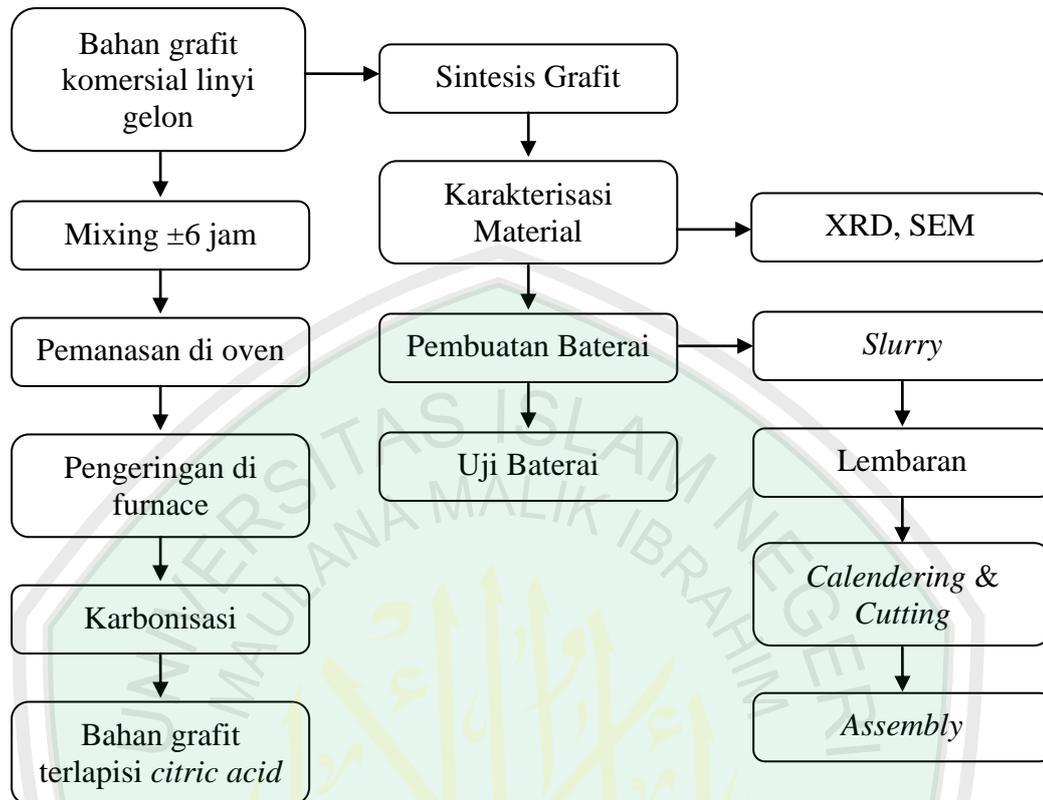
- a) Disiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan,
- b) Bahan disusun dengan urutan mulai dari alas (*can*), spacer, anoda, separator dan katoda,

- c) Elektrolit diteteskan sampai seluruh permukaan separator terkena oleh cairan elektrolit,
- d) Spacer dan *wave spring* diletakkan di atas katoda, kemudian ditutup dengan penutup (*cap*),
- e) Baterai yang telah disusun, dilakukan proses *crimping* casing secara sempurna agar tertutup rapat, kemudian baterai yang telah terbentuk dibiarkan selama 1 hari sebelum diuji tegangannya.

3.3.7 Uji Baterai

Uji baterai dilakukan dengan 2 cara:

- a. *Cyclic voltammetry* (WonATech 3000). Pengujian dilakukan untuk mengkonfirmasi adanya reaksi redoks dalam baterai ion lithium.
- b. *Charge discharge* (Automatic Battery Cyler WBCS 3000). Pengujian dikerjakan untuk mengetahui kapasitas dan efisiensi coulumbic dari baterai ion lithium.



Gambar 3.3 Prosedur penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Pelapisan bahan anoda grafit menggunakan *Citric acid* ini dikerjakan di Laboratorium PPF-LIPI Serpong mulai bulan Januari 2016. Proses penelitian ini terdiri dari beberapa tahap. Tahap pertama yaitu pelapisan bahan anoda grafit yang terdiri dari sintesis, pemanasan, pengeringan, dan karbonisasi, kemudian pengujian bahan secara mikro. Tahap selanjutnya adalah pembuatan baterai yang dimulai dari pembuatan *slurry*, lembaran, dan pengujian baterai.

4.1.1 Pelapisan Bahan Anoda Grafit

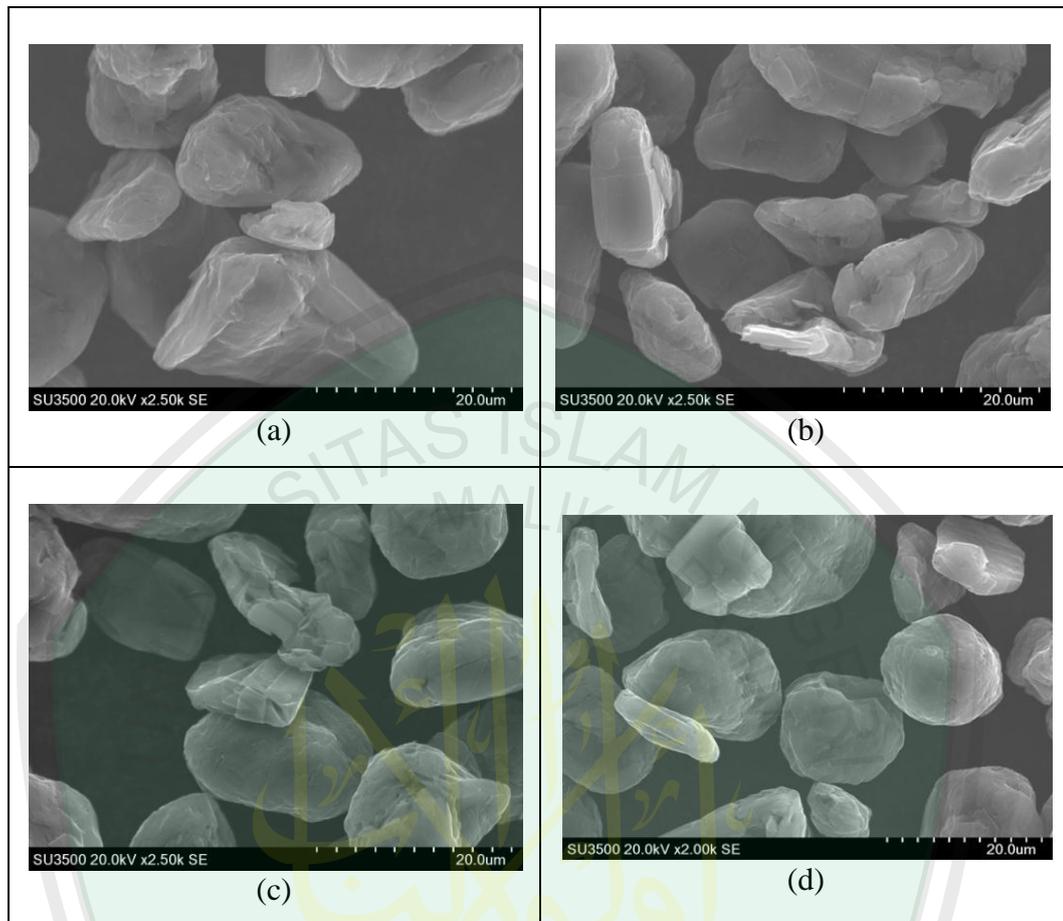
Pelapisan bahan anoda grafit dimulai dari sintesis bahan grafit. Proses ini dikerjakan di Laboratorium Kimia PPF-LIPI. Sintesis grafit dilakukan dengan cara pencampuran grafit dan *Citric acid* dengan variasi komposisi 1:1 serta etanol sebagai pelarut sebanyak 50 mL di atas *hot plate*. Pencampuran dilakukan pada temperatur 80 °C dan putaran 200 rpm selama ± 6 jam. Kemudian tahap kedua yaitu pemanasan di dalam oven dengan temperatur 80 °C selama 3 hari hingga bahan berbentuk *gel*. Proses pemanasan ini bertujuan untuk menghilangkan kadar air (H₂O). Tahap ketiga dilakukan proses pengeringan untuk menghilangkan *gel* atau agar polimer terdegradasi. Degradasi adalah proses pelepasan unsur H, hingga tinggal unsur C saja. Proses ini dilakukan di dalam furnace pada temperatur 350 °C selama 5 jam. Setelah itu dilakukan tahap terakhir yaitu proses karbonisasi. Karbonisasi merupakan proses konversi dari suatu zat organik ke

dalam karbon atau residu yang mengandung karbon, karbonisasi dilakukan dengan membakar grafit terlapis *Citric acid* untuk menghilangkan kandungan air atau *moisture content* dan material-material lain dalam grafit terlapis yang tidak dibutuhkan seperti hydrogen dan oksigen atau material yang menguap.

Proses karbonisasi yang dilakukan pada pembuatan grafit terlapis *Citric acid* diinginkan agar hanya menyisakan *fixed carbon* saja dalam sampel. Sehingga suplai udara yang diperlukan dibuat minimum agar *fixed carbon* tidak terbakar habis karena bereaksi dengan oksigen. Tetapi bila suplai udara dikurangi maka proses pembakaran akan sulit terjadi karena temperatur karbonisasi tidak tercapai dan karbonisasi akan berlangsung dalam waktu yang lebih lama. Karbonisasi dilakukan dengan cara sintering menggunakan furnace agar didapatkan bahan karbon anoda. Sintering dilakukan selama 4 jam dengan temperatur yang bervariasi yaitu 500 °C, 600 °C, dan 700 °C.

4.1.2 Karakterisasi Struktur Mikro Bahan

Struktur mikro bahan dikarakterisasi menggunakan alat Scanning Electron Microscopy (SEM, SU3500, Hitachi) yang dilengkapi Energy Dispersive X-ray (EDX) di Laboratorium PPF-LIPI. Hasil Scanning Electron Microscopy bahan ditunjukkan pada Gambar 4.1.

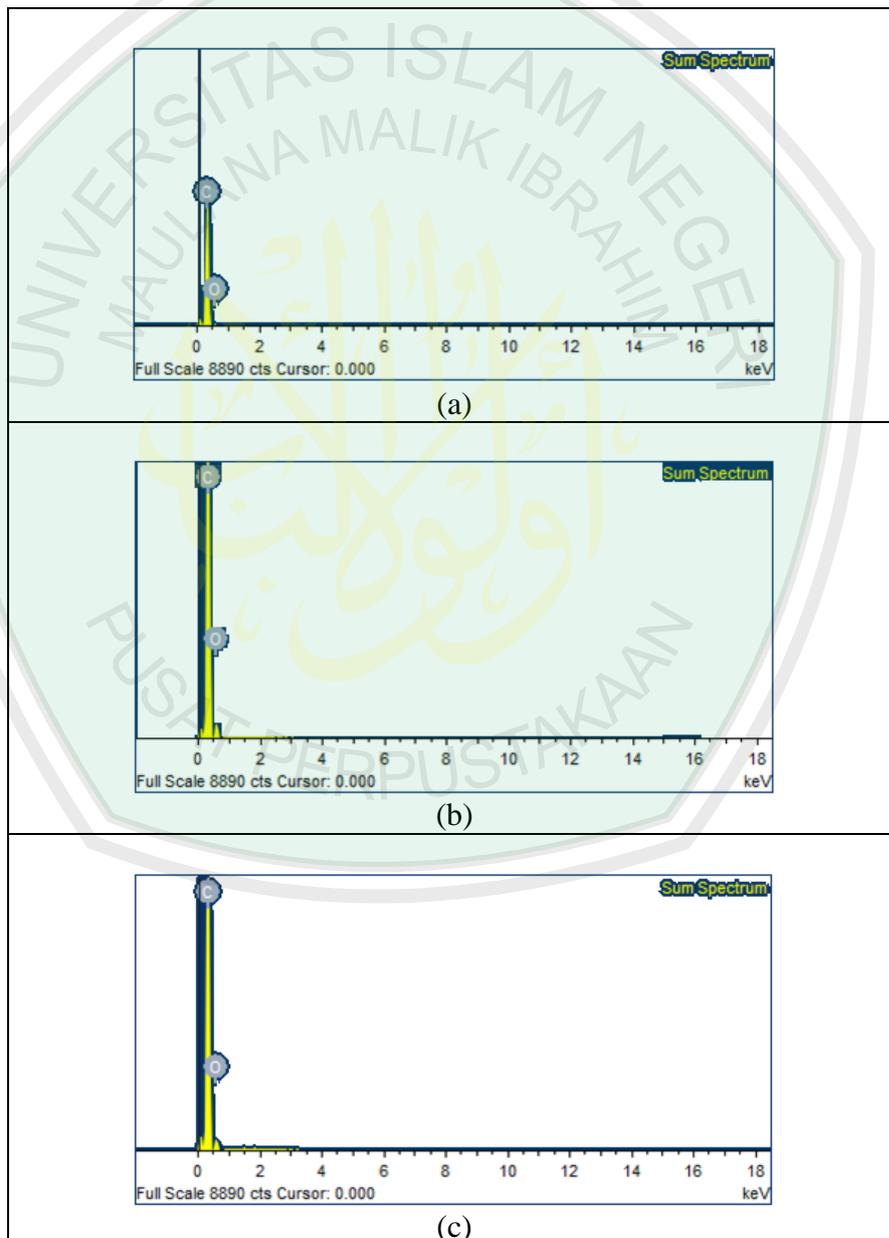


Gambar 4.1 Hasil SEM (a) sampel 1 sintering temperatur 500 °C, (b) sampel 2 sintering temperatur 600 °C, (c) sampel 3 sintering temperatur 700 °C (d) sampel grafit murni

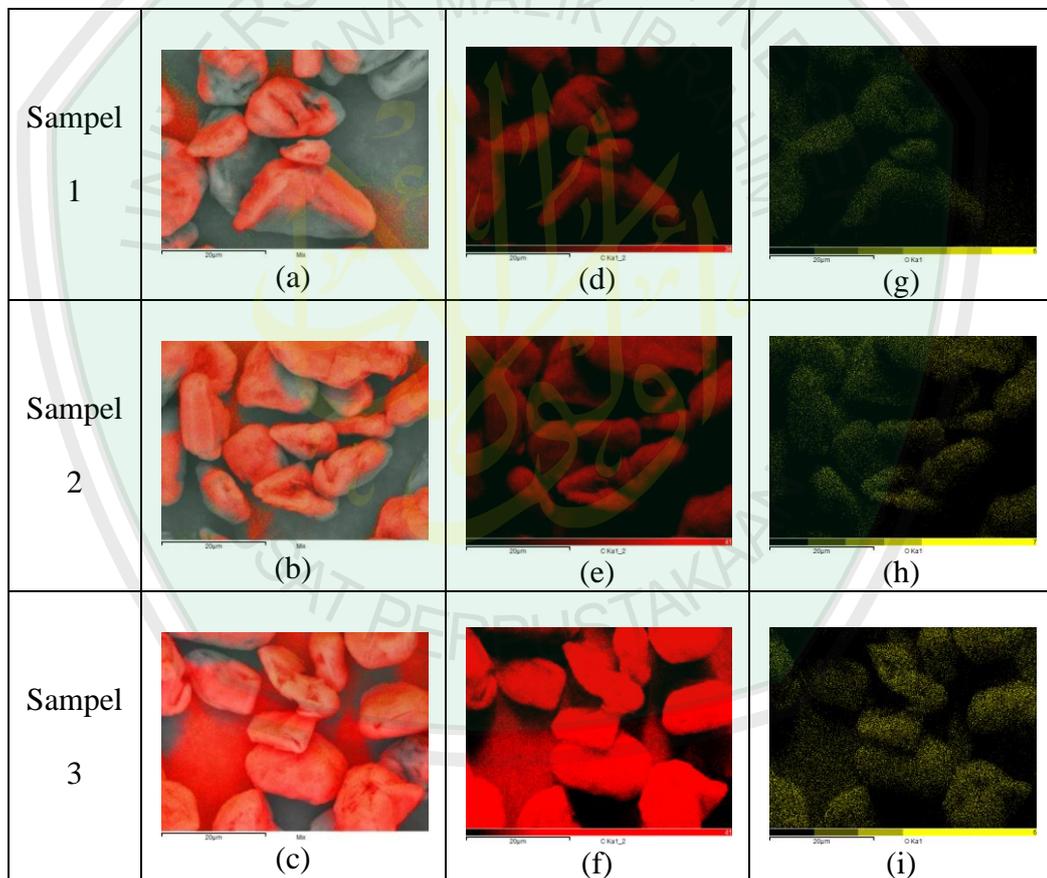
Gambar 4.1 menunjukkan hasil pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) dengan rata-rata ukuran butiran bahan yaitu (a) 59,99 μm ; (b) 45,32 μm ; (c) 54,21 μm ; dan (d) 40,44 μm . Pengujian Energy Dispersive X-ray (EDX) dilakukan untuk mengetahui komposisi (unsur penyusun membran) dari sampel, hasil pengambilan uji sampel berdasarkan *Sum Spectrum* ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Tabel 4.1 Sebaran unsur C dan unsur O

	Unsur	Weight %	Atomic %
Sampel 1	C	92,00	93,87
	O	8,00	6,13
Sampel 2	C	89,45	91,86
	O	10,55	8,14
Sampel 3	C	90,32	92,55
	O	9,68	7,45

Gambar 4.2 Hasil EDX *sum spectrum* (a) sampel 1, (b) sampel 2, dan (c) sampel 3

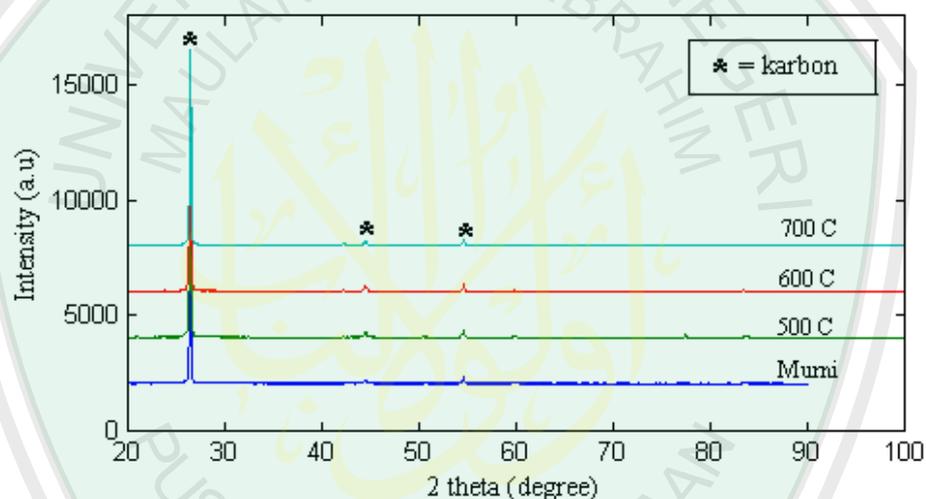
Gambar 4.2 menunjukkan jumlah karbon dalam sampel lebih banyak dibandingkan oksigen. Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui sampel 1 memiliki jumlah berat unsur C paling banyak dibandingkan sampel 3 dan sampel 2. Sedangkan jumlah berat unsur O paling banyak terdapat pada sampel 2, kemudian sampel 3 dan sampel 1. Hasil pengambilan uji SEM-EDX sampel berdasarkan pemetaan sebaran unsur C dan unsur O ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 (a)-(c) Hasil SEM-EDX tampak pemetaan sebaran unsur C dan unsur O. (d)-(f) Hasil SEM-EDX tampak sebaran unsur C. (g)-(i) Hasil SEM-EDX tampak sebaran unsur O

4.1.3 Karakterisasi XRD Grafit Terlapisi *Citric acid*

Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD, Rigaku) dilakukan dengan menggunakan instrumen Difraktometer Sinar-X di Laboratorium PPF-LIPI. Sinar yang digunakan bersumber dari $\text{CuK}\alpha$ dengan panjang gelombang 1.541862 Å. Pada Gambar 4.4 menunjukkan XRD untuk partikel grafit murni atau sebelum dilakukan pelapisan dan setelah dilakukan pelapisan dengan berbagai variasi temperatur sintering:



Gambar 4.4 Pola XRD dari sampel grafit murni dan grafit terlapisi *Citric acid* dengan sintering pada berbagai temperatur

Pola difraksi menunjukkan adanya fasa karbon (C) pada semua perlakuan.

Pada beberapa puncak tidak terjadi pergeseran yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 pergeseran nilai 2θ pada sampel

Indeks Miller	2θ			
	Grafit Murni	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
002	26,4879 (18)	26.506 (2)	26.506 (2)	26.494 (3)
100	42,316 (12)	42.335 (14)	42.313 (11)	42.338 (15)
101	44.521 (16)	44.51 (2)	44.520 (16)	44.520 (17)
004	54.604 (5)	54.638 (7)	54.629 (6)	54.623 (7)
110	77.438 (9)	77.460 (8)	77.465 (10)	77.482 (5)
112	83.587 (8)	83.581 (16)	83.60 (2)	83.617 (14)
006	86.988 (12)	87.04 (3)	87.068 (6)	87.052 (16)

4.1.4 Pembuatan Baterai Ion Lithium

Pembuatan baterai ion lithium diawali dengan pembuatan *slurry*, *slurry* merupakan larutan yang digunakan sebagai bahan anoda baterai ion lithium. Bahan-bahan yang digunakan antara lain material aktif berupa grafit terlapis *Citric acid* (85%), serbuk PVDF (*Polyvinylidene Fluoride*) (10%), serbuk AB (*Acetylene Black*) (5%), dan larutan DMAC (*N-N Dimethyl Acetamid*) sebagai pelarut sebanyak 12mL. Proses pembuatan *slurry* adalah dengan cara pemanasan menggunakan *hot plate* pada temperatur 70 °C dan putaran sebesar 150 rpm. setelah *hot plate* disiapkan, *beaker glass* diletakkan di atas *hot plate* dan *magnetic stirrer* dimasukkan ke dalam *beaker glass*. Kemudian DMAC dicampurkan dengan PVDF di dalam *beaker glass* sampai jernih. Setelah itu serbuk PVDF dan AB dimasukkan secara perlahan-lahan ke dalam larutan sampai tercampur secara sempurna. Setiap serbuk yang dimasukkan ke dalam larutan ditunggu hingga larutan homogen. Grafit terlapis *Citric acid* dimasukkan secara perlahan ke dalam larutan dan dibiarkan teraduk selama $\pm 1,5$ jam diatas *hot plate* sampai terbentuk *slurry* yang diinginkan.

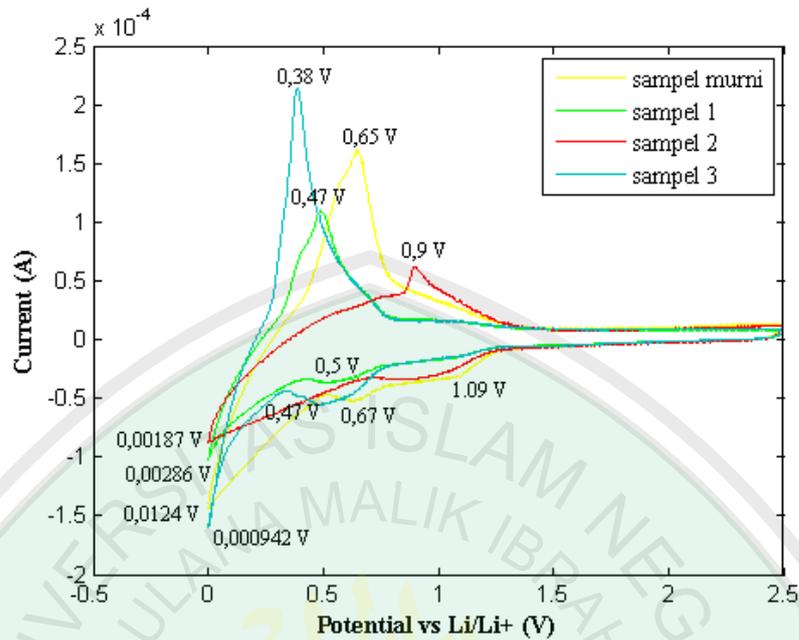
Tahap selanjutnya dalam pembuatan baterai adalah pembuatan lembaran. Proses pembuatan lembaran diawali dengan meletakkan *Cu-foil* di atas doctor blade dan divakumkan, *Cu-foil* dibersihkan dengan aseton. Ketebalan doctor blade diukur dengan pisau doctor blade sebesar 0,2 mm. Kemudian *slurry* dituangkan di atas *Cu-foil* sedikit demi sedikit dan doctor blade dijalankan dengan kecepatan $\pm 6-7$ rpm sampai *Cu-foil* terlapis oleh *slurry* secara sempurna. Setelah itu

lembaran anoda dikeringkan dengan dry box dengan temperatur sebesar 80 °C sampai lembaran mengering (± 1 jam).

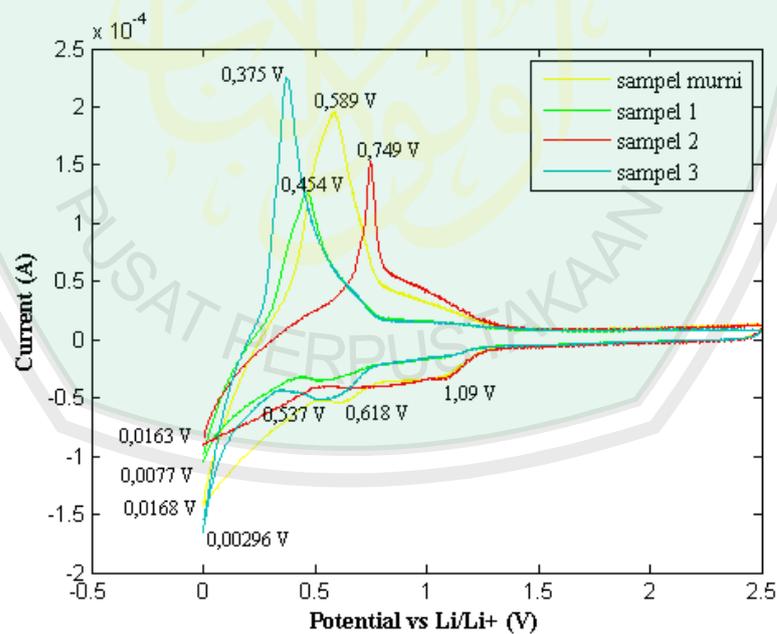
Tahap terakhir dari pembuatan baterai adalah *assembly* baterai atau merangkai/menyusun baterai. Komponen dari baterai ion lithium (koin) antara lain: alas (*can*), spacer, anoda, separator, katoda, elektrolit, spacer, *wave spring*, dan penutup (*cap*). Komponen baterai tersebut dimasukkan ke dalam box dan divakumkan, kemudian disusun dan dilakukan proses *crimping* casing secara sempurna agar tertutup rapat. Baterai yang tersusun kemudian dibiarkan selama 1 hari sebelum diuji tegangannya.

4.1.5 Pengujian CV

Voltametri siklik merupakan teknik voltametri dimana arus diukur selama penyapuan potensial dari potensial awal ke potensial akhir dan kembali lagi ke potensial awal atau disebut juga penyapuan (*scanning*) dapat dibalik kembali setelah reaksi berlangsung. Dengan demikian arus katodik maupun anodik dapat terukur (Scholz, 2010). Pengujian *cyclic voltammetry* ini bertujuan untuk mengkonfirmasi adanya reaksi redoks dalam sampel atau tidak. Voltamogram siklik diperoleh dengan mengukur arus pada elektroda kerja selama scan potensial. Alat yang digunakan untuk pengujian CV bermerek WonATech 3000.



Gambar 4.5 *Cyclic Voltammograms* sampel grafit tidak terlapis dan grafit terlapis *cycle 2*



Gambar 4.6 *Cyclic Voltammograms* sampel grafit tidak terlapis dan grafit terlapis *cycle 3*

Hasil pengujian voltamogram siklik dari sampel grafit terlapis *Citric acid* ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 pada tingkat scan $0,1 \text{ mVs}^{-1}$ antara

2,5 dan 0 V vs Li^+/Li . Puncak anodik menunjukkan area yang lebih besar dibandingkan dengan puncak katodik selama siklus kedua, yang dapat dikaitkan dengan kapasitas ireversibel (proses yang arahnya dapat dibalik karena adanya perubahan infinitesimal (*extremely small*) dari kondisi eksternal).

Dapat dilihat Gambar 4.5, kurva CV dari siklus kedua sampel grafit murni menunjukkan tiga puncak reduksi (sekitar 1,09 V, 0,67 V, dan 0,012 V) yang menunjukkan tiga fase transformasi selama lithium penyisipan. Sedangkan untuk kurva CV dari siklus ketiga juga terdapat tiga puncak reduksi (sekitar 1,09 V, 0,618 V, dan 0,0168 V). Puncak oksidasi diamati di kurva CV dari siklus 2-3 (sekitar 0,5 V-0,6 V).

Kurva CV dari siklus kedua sampel 1 (grafit terlapisi *Citric acid* sintering 500 °C) menunjukkan dua puncak reduksi (sekitar 0,5 V dan 0,00286 V) yang menunjukkan dua fase transformasi selama lithium penyisipan. Sedangkan untuk kurva CV dari siklus ketiga hanya terdapat satu puncak reduksi (sekitar 0,0077 V). Perubahan ini biasanya berasal terjadinya reaksi samping pada permukaan elektroda dan interface. Puncak oksidasi dapat diamati di CV kurva dari siklus 2-3 tetap cukup konsisten (sekitar 0,4 V), menunjukkan proses ekstraksi lithium yang sama.

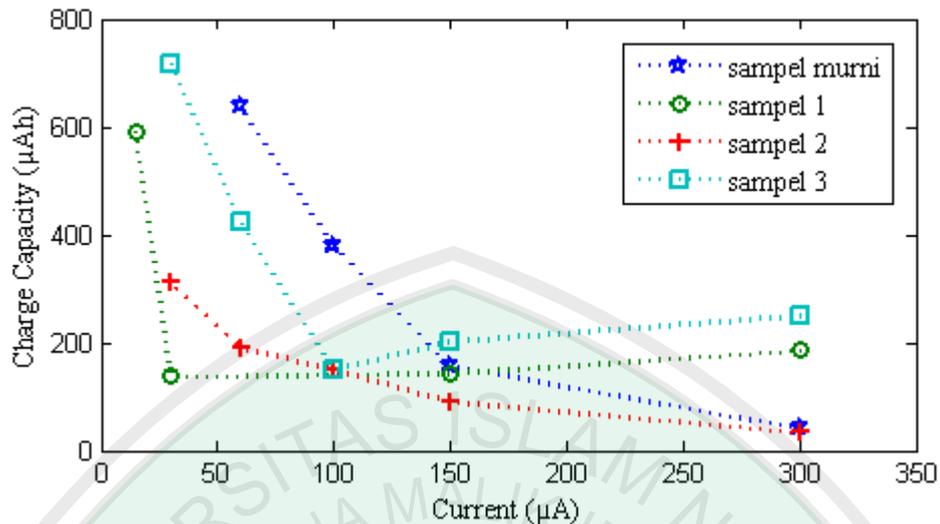
Kurva CV dari siklus kedua sampel 2 (grafit terlapisi *Citric acid* sintering 600 °C) menunjukkan satu puncak reduksi (sekitar 0,00187 V) yang menunjukkan satu fase transformasi selama lithium penyisipan. Sedangkan untuk kurva CV dari siklus ketiga juga terdapat satu puncak reduksi (sekitar 0,0163 V). Puncak oksidasi dapat diamati di CV kurva dari siklus 2-3 (sekitar 0,9 V-0,7 V).

Kurva CV dari siklus kedua sampel 3 (grafit terlapisi *Citric acid* sintering 700 °C) menunjukkan dua puncak reduksi (sekitar 0,47 V dan 0,00094 V) yang menunjukkan dua fase transformasi selama lithium penyisipan. Sedangkan untuk kurva CV dari siklus ketiga juga terdapat dua puncak reduksi (sekitar 0,537 dan 0,0029 V). Puncak oksidasi dapat diamati di CV kurva dari siklus 2-3 tetap cukup konsisten (sekitar 0,3 V), menunjukkan proses ekstraksi lithium yang sama.

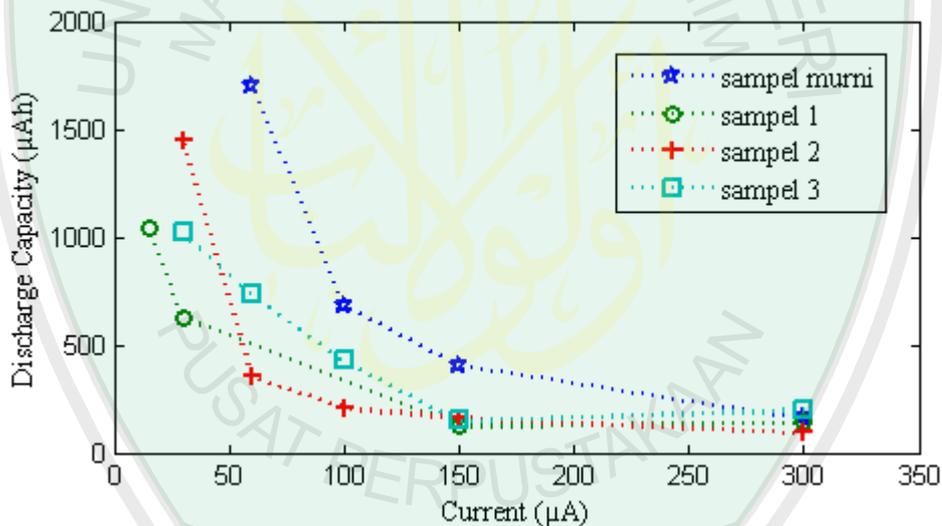
4.2.2 Pengujian *Charge Discharge*

Baterai terdapat dua macam, yaitu baterai *fast charging* dan baterai biasa. Tujuan dari pelapisan grafit ini diharapkan mendapatkan baterai dengan proses pengisiannya sebentar akan tetapi proses pengosongannya lama (*fast charging*). Pengujian *charge discharge* bertujuan untuk mengetahui berapa lama pemakaian dari baterai (*life cycle*). Alat yang digunakan untuk pengujian CD bermerek Automatic Battery Cycler WBCS3000.

Pengisian baterai adalah melakukan proses *charge* sampai dengan kondisi mengembalikan 100% dari kapasitas Ah yang terpasang dengan arus mendekati 0A di mana titik terakhir *charge* sudah tidak efektif lagi karena perubahan arus kecil sekali dan memerlukan waktu yang panjang. Dalam proses *charge discharge cycle* pertama dimulai dari proses *discharge* dengan 100% kapasitas baterai sampai dengan batas kapasitas bawah (Widjonarko, 2012).



Gambar 4.7 Grafik arus listrik (μA) terhadap kapasitas *charge* (μAh)



Gambar 4.8 Grafik arus listrik (μA) terhadap kapasitas *discharge* (μAh)

Kurva *charge-discharge* dari grafit terlapisi *Citric acid* diukur pada tingkat 0.1C antara 15 μA sampai 300 μA ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan 4.8. Keempat sampel grafit memperlihatkan garis hubungan arus listrik yang diberikan terhadap kapasitas *charge-discharge* baterai. Pada proses *charge*, ketika arus listrik yang diberikan sebesar 60 μA maka kapasitas *charge* yang paling besar ada

pada sampel grafit murni. Ketika arus listrik yang diberikan sebesar 100 μA maka kapasitas *charge* yang paling besar ada pada sampel 2. Ketika arus listrik yang diberikan sebesar 150 μA maka sampel yang memiliki kapasitas *charge* terbesar adalah sampel 3. Sedangkan ketika arus listrik yang diberikan sebesar 300 μA maka sampel yang memiliki kapasitas *charge* terbesar juga sampel 3.

Pada proses *discharge*, ketika arus listrik yang diberikan sebesar 60 μA maka kapasitas *discharge* yang paling besar ada pada sampel grafit murni. Ketika arus listrik yang diberikan sebesar 100 μA maka kapasitas *discharge* yang paling besar ada pada sampel grafit murni. Ketika arus listrik yang diberikan sebesar 150 μA maka kapasitas *discharge* yang paling besar ada pada sampel grafit murni. Sedangkan ketika arus listrik yang diberikan sebesar 300 μA maka kapasitas *discharge* yang paling besar ada pada sampel 3.

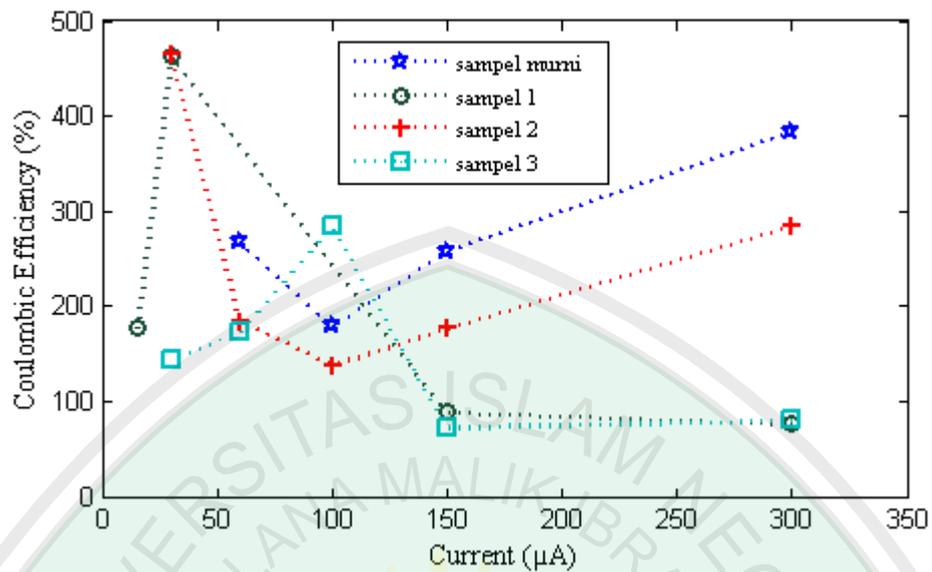
Efisiensi coulumbic dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Efisiensi Coulombic} = \frac{\text{kapasitas discharge}}{\text{kapasitas charge}} \times 100\% \quad (4.1)$$

dari rumus diatas akan didapatkan nilai efisiensi coulumbic keempat sampel. Kemudian dibuat grafik nilai efisiensi coulumbic dari keempat sampel terhadap arus listrik yang mengalir.

Tabel 4.3 Efisiensi *Coulombic*

No.	Sampel Murni		Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3	
	Arus (μA)	Efisiensi <i>Coulumbic</i> (%)	Arus (μA)	Efisiensi <i>Coulumbic</i> (%)	Arus (μA)	Efisiensi <i>Coulumbic</i> (%)	Arus (μA)	Efisiensi <i>Coulumbic</i> (%)
1.	300	384	300	76,44	300	283,86	300	80,03
2.	150	258	150	88,82	150	177,29	150	73,27
3.	100	179	-	-	100	138,09	100	285,28
4.	60	267	-	-	60	184,15	60	173,39
5.	-	-	30	463,39	30	465,72	30	142,90
6.	-	-	15	177,04	-	-	-	-



Gambar 4.9 Grafik hubungan arus (μA) terhadap efisiensi *coulumbic* (%)

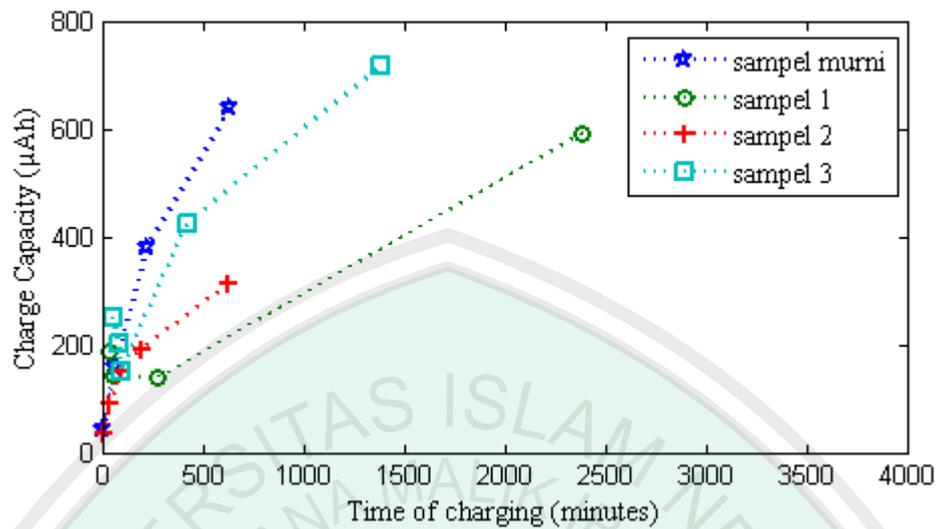
Selanjutnya dibuat grafik hubungan waktu pengisian/pengosongan (x) dan kapasitas pengisian/pengosongan (y).

Tabel 4.4 Waktu Pengisian

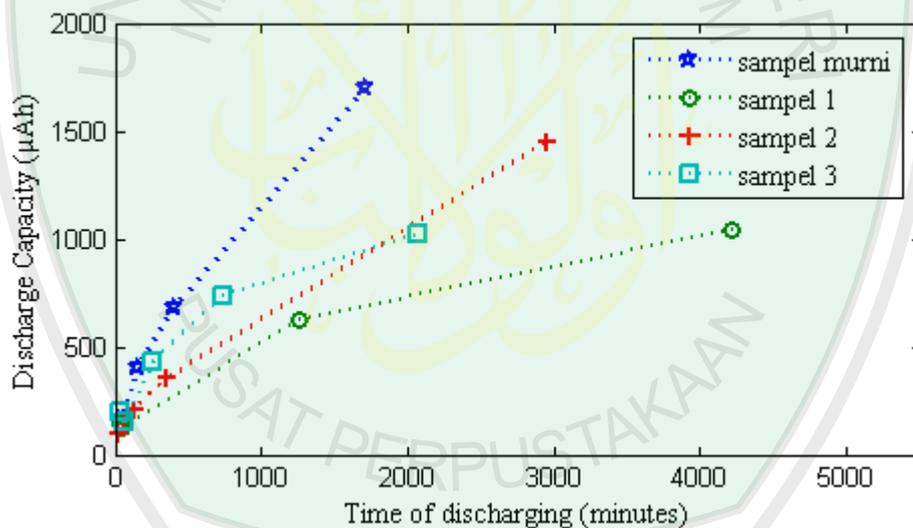
Sampel Murni		Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3	
Waktu (menit)	Kapasitas (μAh)						
8,5	42	37,21	186,82	6,42	33,501	50,1	250,99
63	157,77	57,32	143,85	36,54	92,312	81,1	203,19
227	380	271,2	138,84	90,58	151,71	90,18	150,62
636	637,56	2389,5	591,03	192,05	192,46	424,56	424,96
				622,06	311,77	1380,5	716,22

Tabel 4.5 Waktu Pengosongan

Sampel Murni		Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3	
Waktu (menit)	Kapasitas (μAh)						
32	161,19	28,28	142,4	19,01	95,098	40,12	200,88
163	407,33	51,06	127,78	65,31	163,67	59,37	148,89
409	681,99	1260,5	629,47	125,46	209,5	258,34	429,69
1715	1703	4217,5	1046	356,33	355,37	735,34	736,85
				2943,3	1452	2067,1	1023,5



Gambar 4.10 Grafik waktu *charge* terhadap kapasitas *charge*



Gambar 4.11 Grafik waktu *discharge* terhadap kapasitas *discharge*

4.2 Pembahasan

Pelapisan bahan anoda grafit dilakukan dengan metode sintesis, proses pelapisan tersebut menentukan seberapa besar kapasitas yang dimiliki baterai ion lithium. Penggunaan variasi temperatur sintering diperlukan untuk mengetahui

temperatur yang cocok agar didapatkan baterai ion lithium dengan kualitas yang lebih baik.

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa semua sampel menampilkan partikel halus yang ukurannya tidak seragam. Permukaan partikel grafit terlihat tidak halus, hal itu menunjukkan partikel karbon terdistribusi merata pada permukaan partikel grafit. Guerfi et al, 2003 menjelaskan bahwa karbon aditif dapat membantu mengurangi aglomerasi. Aglomerasi merupakan pengumpulan dan/atau penumpukan partikel atau zat menjadi satu. Sehingga karbon aditif dapat juga mengurangi ukuran partikel grafit sebagai material aktif. Karbon dari pirolisis asam sitrat didistribusikan di antara partikel grafit. Hal ini dapat menghambat gumpalan partikel grafit dan menghambat pertumbuhan partikel selama sintering. Ukuran dari partikel grafit yang semakin kecil dapat memperpendek jalur difusi sehingga menyebabkan ion Li^+ mudah berdifusi sehingga dapat meningkatkan performa baterai ion lithium.

Dari Gambar 4.3 SEM-EDX tampak sebaran unsur C paling banyak terdapat pada sampel 3 kemudian sampel 2 dan sampel 1. Hal tersebut dapat diartikan bahwa semakin tinggi temperatur sintering maka semakin banyak karbon *Citric acid* yang terlapisi pada grafit. Semakin banyak *Citric acid* yang terlapisi pada grafit, ion Li^+ lebih cepat berdifusi karena karbon memiliki sifat konduktivitas yang besar.

Hasil dari foto scanning SEM pada grafit dengan berbagai temperatur sintering didapatkan bahwa sampel 3 memiliki sebaran unsur C paling banyak. Hal itu dapat diartikan bahwa sampel 3 paling baik, karena semakin banyak *Citric*

acid yang terlapisi pada grafit, maka ion Li^+ lebih cepat berdifusi karena karbon memiliki sifat konduktivitas yang besar. Hal itu berarti variasi temperatur sintering berpengaruh terhadap peningkatan kualitas pelapisan grafit terlapisi karbon.

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Difraksi sinar-X merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam material-material benda dan serbuk, dan untuk menganalisis sifat-sifat struktur (seperti *stress*, ukuran butir, fasa komposisi orientasi kristal, dan cacat kristal) dari riap fasa (Sinol. 2015).

Rentang sudut yang digunakan pada pengujian XRD yaitu 20° - 100° dan mulai muncul puncak pada sudut sekitar 25° - 87° . Karakteristik grafit terlapisi dapat dilihat dari puncak-puncak intensitas yang muncul. Dari hasil uji karakterisasi XRD terdapat satu fasa yaitu C. Puncak-puncak karbon grafit terdapat pada sudut 2θ sekitar 26° , 42° , 44° , 54° , 77° , 83° , dan 87° . Puncak yang tajam menunjukkan bahwa sampel bersifat kristalin, semakin tajam puncak pada grafik maka semakin besar kristalinitasnya. Puncak yang tinggi, itu menunjukkan kristalinitas yang tinggi.

Hasil analisa nilai 2θ dengan indeks miller (002) yaitu $a = 2.4603(2) \text{ \AA}$, $b = 2.4603(2) \text{ \AA}$, dan $c = 6.7093(8) \text{ \AA}$, sedangkan $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 90^\circ$, dan $\gamma = 120^\circ$. Sesuai dengan parameter kisi yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 maka sampel grafit berstruktur heksagonal dengan ketentuan $a = b \neq c$ dan $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$.

Pada kurva *cyclic voltammetry* diketahui bahwa sampel dapat digunakan sebagai baterai karena terdapat reaksi redoks (*cycle 2* dan *cycle 3*) dalam sampel.

Reaksi redoks dapat diketahui dari puncak anodik dan puncak katodik yang terlihat pada grafik *cyclic voltammetry*. Sampel 3 memiliki puncak anodik paling tinggi, hal itu dapat diartikan bahwa temperatur sintering yang tinggi membuat puncak oksidasi sampel tinggi juga.

Gambar 4.7 merupakan grafik hubungan arus listrik terhadap kapasitas *charge*, diketahui bahwa pada arus 150 μA dan 300 μA variasi temperatur sintering berpengaruh terhadap kenaikan kapasitas *charge*. Akan tetapi pada Gambar 4.8 yaitu grafik hubungan arus listrik terhadap kapasitas *discharge*, diketahui bahwa variasi temperatur sintering berpengaruh terhadap kenaikan kapasitas *discharge* pada arus 300 μA . Sedangkan pada arus 150 μA , terjadi penurunan kapasitas *discharge* secara berturut-turut dari sampel grafit murni, sampel 2, sampel 3, dan sampel 1. Gambar 4.9 merupakan grafik hubungan arus listrik terhadap efisiensi *coulumbic*. Diketahui bahwa temperatur sintering berpengaruh terhadap penurunan efisiensi *coulombic*. Pada arus 150 μA dan 300 μA , diketahui secara berturut-turut efisiensi *coulumbic* paling tinggi ada pada sampel grafit murni, sampel 2, sampel 1, dan sampel 3.

Variasi temperatur sintering menyebabkan peningkatan kapasitas *charge-discharge* baterai ion lithium. Kapasitas optimum terdapat pada sampel 3 dengan temperatur sintering 700 °C. Analisa berdasarkan struktur mikronya tidak ada perbedaan antara satu sampel dengan yang lainnya. Hal tersebut dibuktikan dengan tidak adanya pergeseran puncak pola XRD tiap sampel. Sedangkan berdasarkan kualitas pelapisan yang ditunjukkan pada hasil uji SEM-EDX dimana unsur C lebih banyak dibandingkan unsur O, sampel 1 memiliki unsur O paling

banyak dibandingkan sampel 3 dan sampel 2. Kemudian menurut hasil uji voltametri siklik pada siklus kedua dan siklus ketiga, sampel 3 memiliki puncak anodik paling tinggi dibanding sampel 1 dan sampel 2. Apabila dibandingkan dengan sampel grafit murni atau grafit tanpa pelapisan, maka sampel grafit terlapisi *Citric acid* dengan suhu tinggi lebih baik dari sisi kapasitasnya. Namun pada temperatur rendah (500 °C dan 600 °C), kapasitas sampel grafit murni lebih baik dibandingkan sampel grafit terlapisi *Citric acid*. Hal tersebut ditunjukkan pada kurva CV dimana sampel 3 memiliki puncak anodik lebih tinggi dibanding sampel grafit murni, namun sampel grafit murni memiliki puncak anodik lebih tinggi dibanding sampel 1 dan sampel 2.

Efisiensi coulombic paling tinggi terdapat pada sampel 2 yang ditunjukkan pada kurva CV dimana terdapat satu puncak reduksi yang berarti terdapat satu fase transformasi selama lithium penyisipan. Sedangkan jika dibandingkan dengan sampel grafit murni, maka sampel grafit murni memiliki efisiensi coulombic paling tinggi yang ditunjukkan pada kurva CV. Pada kurva tersebut terdapat tiga puncak reduksi yang berarti terdapat tiga fase transformasi selama lithium penyisipan. Hal itu menandakan bahwa variasi temperatur sintering berpengaruh terhadap penurunan efisiensi *coulombic* sampel.

Allah Swt berfirman dalam QS. Yaasin (26): 80:

الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنتُم مِّنْهُ تُوقِدُونَ ﴿٨٠﴾

“Yaitu Tuhan yang menjadikan untukmu api dari kayu yang hijau, Maka tiba-tiba kamu nyalakan (api) dari kayu itu” (QS. Yaasin (26): 80).

Dialah, Allah yang telah menjadikan pohon itu hijau dan indah, kemudian pohon itu dijadikan sebagai kayu api yang kering untuk menghidupkan api. Tuhan yang sanggup berbuat demikian itu tentu berkuasa pula mengerjakan apa yang dikehendaki-Nya dan tidak ada yang dapat menghalangi-Nya. Sebab, Tuhan yang menimbulkan api pada kayu yang hijau, tentu lebih berkuasa mengembalikan kayu yang telah kering itu menjadi hijau kembali (ash-Shiddieqy, 2000: 3436).

Ada yang mengatakan bahwa tafsir ayat ini adalah: Tuhan yang berkuasa menjadikan api pada kayu yang masih hijau dan kayu yang masih hijau itu dapat kamu nyalakan. Memang terdapat beberapa macam pohon yang apabila sedikit saja bergesekan, dapat menimbulkan api, padahal pohon itu masih hijau dan berair (ash-Shiddieqy, 2000: 3436).

Ayat tersebut menyebutkan tentang kayu yang hijau, artinya kayu yang berasal dari pohon yang tumbuh di hutan. Kayu yang terpendam di dalam tanah dan mendapat tekanan di dalam bumi selama ratusan juta tahun yang lalu, pada akhirnya akan menjadi batu bara (Wardhana, 2004).

Ayat di atas menjelaskan bahwa kayu dapat dijadikan sebagai sumber energi yang bermanfaat bagi manusia. Kayu yang terpendam di dalam tanah dan mendapat tekanan di dalam bumi selama ratusan juta tahun yang lalu, pada akhirnya akan menjadi batu bara dan berubah menjadi grafit karena faktor suhu, tekanan, dan lain-lain. Maka telah dilakukan penelitian mengenai grafit sebagai bahan anoda untuk baterai ion lithium. Grafit terlapisi *Citric acid* dengan sintering pada temperatur 700 °C memiliki kualitas paling baik dibandingkan sampel yang lain (500 °C dan 600 °C) sebagai bahan anoda baterai ion lithium yang memiliki

potensi sebagai penyimpan energi listrik yang bermanfaat untuk kebutuhan manusia. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa Al Quran sudah terlebih dahulu mengetahui potensi kayu yang bisa dijadikan sebagai energi cahaya dan bisa dikembangkan oleh manusia menjadi penyimpan energi listrik.

Sumber energi yang tersedia di Bumi semakin lama semakin menipis karena sering digunakan. Oleh karena itu diperlukan sebuah sumber energi alternatif untuk memudahkan aktivitas manusia. Salah satu energi alternatif itu berupa penyimpan energi. Penelitian mengenai penyimpan energi akan memberikan manfaat bagi kehidupan manusia. Material penyimpan energi saat ini sangat dibutuhkan seiring perkembangan teknologi yang semakin pesat. Oleh karena itu penelitian ini jika dilakukan maka manfaatnya akan kembali kepada manusia itu sendiri. Sesuai dengan firman Allah Swt:

إِن أَحْسَنْتُمْ أَحْسَنْتُمْ لِأَنْفُسِكُمْ وَإِنْ أَسَأْتُمْ فَلَهَا^ج

“jika kamu berbuat baik (berarti) kamu berbuat baik bagi dirimu sendiri dan jika kamu berbuat jahat, Maka (kejahatan) itu bagi dirimu sendiri” (QS. Al Isra (17):7)

Jika kamu memperbaiki amalan berartilah kamu berbuat ihsan kepada dirimu sendiri. Sebab, pahala amalan adalah untukmu sendiri. Sebaliknya, jika kamu berbuat jahat (maksiat) atau merusak amalanmu dengan membuat kerusakan dan kezaliman, akibat dari semua itu akan kembali kepadamu (ash-Shiddieqy, 2000: 2304).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur sintering maka semakin banyak unsur karbon yang terlapisi pada grafit. Jadi, variasi temperatur sintering berpengaruh terhadap kenaikan kualitas pelapisan grafit terlapisi karbon.
2. Pelapisan *Citric acid* tidak merubah struktur kristalin dari grafit yang dibuktikan dari tidak adanya pergeseran puncak difraksi, artinya penelitian ini berhasil dilakukan. Jadi variasi temperatur sintering tidak berpengaruh terhadap struktur mikro grafit terlapisi karbon.
3. Sampel yang dibuat telah menjadi baterai, terbukti dari hasil pengujian *cyclic voltammetry* terdapat reaksi redoks.
4. Variasi temperatur sintering berpengaruh terhadap kenaikan kapasitas *charge discharge* dan penurunan efisiensi coulombic baterai. Sehingga pengaruh respon karakteristik elektrokimia pada pelapisan bahan grafit oleh *Citric acid* adalah meningkat. Namun jika dibandingkan dengan grafit tidak terlapisi maka efisiensi coulombic lebih baik dari padagrafit terlapisi.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan temperatur sintering di atas 700 °C untuk mendapatkan kualitas kapasitas baterai yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- A.D. Little. 1998. *Kline & Company and Company estimates Carson 1998*. California, USA: PR Newswire
- Anonymous. 2013. *Sel Galvani*. <http://www.ilmukimia.org/>. Diakses 17 Mei 2016
- Anonymous. 2014. *Asam sitrat*. https://id.wikipedia.org/wiki/Asam_sitrat. Diakses 12 Desember 2015
- Arif, dkk. 2007. *Penggunaan Grafit Batu Baterai Sebagai Alternatif Elektroda Spektrografi Emisi*. Jurnal Vol.1 No.2. Yogyakarta: BATAN
- Artadi, Arif. Sudaryo. Aryadi. 2007. *Penggunaan Grafit Batu Baterai Sebagai Alternatif Elektroda Spektrografi Emisi*. Yogyakarta: BATAN
- Bird, T. 1993. *Kimia Fisik Untuk Universitas*. Jakarta: Gramedia
- Brady, James E. 2010. *Kimia Universitas Asas & Struktur Jilid 2*. Tangerang: Binarupa Aksara
- Buchmann, Isidor. 2001. *Baterai University*. <http://www.buchmann.ca>. Diakses 26 Agustus 2015
- Callister, William D. 1940. *Materials Science And Engineering : An Introduction (7th Ed)*. USA: John Wiley & Sons, Inc
- Chew, S.Y., Patey, T.J., Waser, O., Ng, S.H., Buchel, R., Tricoli, A., Krumeich, F., Wang, J. 2008. *Thin Nanostructured LiMn_2O_4 Film by Flame Spray Deposition an In Situ Annealing Method*. Journal of Power Sources, Vol. 189 : 449 – 453
- Enterprise, Jubilee. 2010. *Teknik Menghemat Baterai*. Jakarta: Gramedia
- Eriksson, T. 2001. *LiMn_2O_4 as a Li-Ion Battery Cathode From Bulk to Electrolyte Interfase*. [Disertasi]. Sweden : Uppsala University
- Furukawa. 2011. *Electrodeposited Copper Foil for Lithium-Ion Batteries*. <https://www.furukawa.co.jp>. Diakses 25 Januari 2016
- Grant, N. M., & Suryanayana, C. 1998. *X-Ray Diffraction : A Partical Approach*. New York: Plenum Press
- Gritzner, G. 1993. Symbol and Definition In Electrochemical Engineering. Pure & Appl Chem. 65 : (009-20).

- Han, Yu-Jin dkk. 2015. *Coating of graphite anode with coal tar pitch as an effective precursor for enhancing the rate performance in Li-ion batteries: Effects of composition and softening points of coal tar pitch*. Japan: Science Direct
- Haryadi,W.1993. *Ilmu Kimia Analitik Dasar*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka
- Hudaya, Chairul. 2011. *Peranan Riset Baterai Sekunder dalam Mendukung Penyediaan Energi Bersih Di Indonesia 2025*. Proceeding Olimpiade Karya Tulis Inovatif (OKTI). Korea: Korea Institute of Science and Technology (KIST)
- Jankowska, H. Swiatkowski, A. dan Choma, J. 1991. *Active Carbon*. London: Horwood
- Kha, Ida. 2014. *Makalah Baterai*. <http://idakhaa.blogspot.co.id>. Diakses 03 Desember 2015
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta : UI Press
- Kim, Taegon dkk. 2007. *Capacitance Behaviors Of Acetylene Black Series With Changes Of Graphitization Degree*. Japan: Institute for Materials Chemistry and Engineering, Kyushu University, Kasuga, Fukuoka 816-8580
- Kirk, R. E. 1983. *Encyclopedia of Chemical Technology vol.4*. New York: John Willey & Sons
- Liadler, Keith. 1996. *Principles of Chemistry*. Kanada: The University of Ottawa
- Liang, Zhiyong dkk. 2013. *Synthesis of carbon-coated Li_3VO_4 and its high electrochemical performance as anode material for lithium-ion batteries*. China: South China University of Technology
- Linden, David. 1994. *Handbook of Batteries second edition*. New York: McGraw Hill
- M.Z.A. Munshi, dkk. 1995. *Handbook of Solid State Batteries & Capacitors*, hal:427-444 & 469-478. Singapore: World Scientific
- Marsh, H. dan Francisco R. R. 2006. *Activated Carbon*. Belanda: Elsevier Science & Technology Books
- Martin Winter, Ralph J Brodd. 2004. *What Are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors?*. Chem. Rev. 104 (2004) 4245-4269. American: American Chemical Society
- Nazri. 2009. *Lithium Batteries: Science and Technology*. Miami in Rachman, Mochlesur: Springer
- Parker, S. P. 1993. *Encyclopedia of Chemistry Second Edition*. Washington: McGraw-Hill, Inc

- Prihandoko, Bambang, M.T. 2010. *Pembuatan Nanomaterial Sebagai Bahan Komponen Baterai Lithium*. Laporan Akhir. Serpong: LIPI
- Pujiyanto. 2010. *Pembuangan Karbon Aktif Super Dari Tempurung Kelapa Dan Batubara*. Skripsi. Depok: Departemen Teknik Kimia FTUI
- Rohman, Fadli dkk. 2015. *Electron Microscopy Investigation and Electrochemical Performance of Carbon-coated $\text{LiFe}_{0.7}\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.1}\text{PO}_4$ for Lithium Ion Battery*. Serpong: LIPI
- Roque, M. dan Rolando M. A. 2007. *Adsorption and Diffusion in Nanoporous Material*. Prancis: CRC Press
- S. Jouanneau, A. dkk. 2002. *Journal of New Materials for Electrochemical Systems, New Mg and Ca exchanged derivatives of $\text{Li}_{1.1}\text{V}_3\text{O}_8$: Synthesis, characterization and lithium insertion behavior*. Laboratoire de Chimie des Solides, J. New. Mat. Electrochem. Systems, p. 5, 191-196
- Saito, Taro. 1996. *Buku Teks Kimia Anorganik Online*. Tokyo: Iwanami
- Sakti, Zein. 2015. *Pengertian, Sejarah, Karakteristik Serta Manfaat Karbon Lengkap*. <http://awalilmu.blogspot.com>. Diakses 04 November 2015
- Sari, Kartika. 2015. *Pembuatan Baterai Lithium Menggunakan Bahan Aktif Mesocarbon Microbead (MCMB) Sebagai Anoda Dengan Variasi Persentase Berat Pelarut N,N-Dimethyl Acetamide (DMAC)*. Skripsi. Sumatra Utara: USU
- Saryanto, Henri. 2013. *Teori Dasar X-Ray Diffraction (XRD)*. <http://fathulilmi.blogspot.co.id>. Diakses 08 Januari 2016
- Scholz, F. 2010. *Electroanalytical Methods: Guide to Experiments and Applications*, Springer: UK
- Sen, D. 2005. *Reference Book on Chemical Engineering vol.1*. New Delhi: New Age International Publisher
- Sinol. 2015. *Sintesa Dan Karakterisasi Campuran Bahan Semikonduktor $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$* . Skripsi. Malang: UIN MALANG Press
- Sinuhaji P., dan Marlianto E. 2012. *Teknologi Film Tipis*. Medan: USU Press
- Siti, M. 2010. *Metode Pemisahan dan Analisa Kimia*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Ash-Shiddieqy, Muhammad Hasbi. Teungku. 2000. *Tafsir Al-Qur'anul Majid An-Nuur 3*. Semarang: PUSTAKA RIZKI PUTRA
- Smallman, R., & Bishop, R. 1999. *Modern Physics Metallurgy And Materials Engineering*. Butterworth-Heinemann: Oxford

- T. Minami, 2005. *“Solid State Ionics For Batteries”*. Osaka, Japan: President, Osaka Prefecture University Gakuen-cho Sakai
- Wahyudi. 2012. *Penemuan Terbaru Perpanjang Usia Baterai Li-Ion*. <http://viruspintar.blogspot.co.id/>. Diakses 28 Juni 2016
- Wardhana, Wisnu Arya. 2004. *Al-Qur'an dan Energi Nuklir*. Yogyakarta: PUSTAKA PELAJAR
- Widjonarko. 2012. *Optimasi Kerja Baterai Charge-Discharge pada Sistem Pengaturan Beban di BTS (Base Transceiver Station) remote area menggunakan Pengaturan Beban Dinamis*. Seminar. Jember: UNEJ
- Widyawati, N. 2012. *Analisa Pengaruh Heating Rate terhadap tingkat Kristal dan Ukuran Butir Lapisan BZT yang Ditumbuhkan dengan Metode Sol Gel*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret
- Willis, R. 1989. *Kimia Inti*. Jakarta: Depdikbud Dirjen Pendidikan Tinggi Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan
- Wiryawan. 2015. *Baterai Lithium*. <http://wiryawangpblog.blogspot.co.id>. Diakses 07 Januari 2016
- Yoshio, Masaki. Ralph J. Brodd & Akiya Kozawa (Eds.). 2009. *Lithium-Ion Batteries Science and Technologies*. Japan: Springer

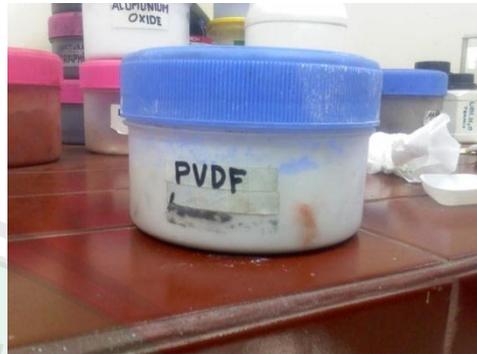


LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar



Hot Plate



PVDF



Acetylene Black (AB)



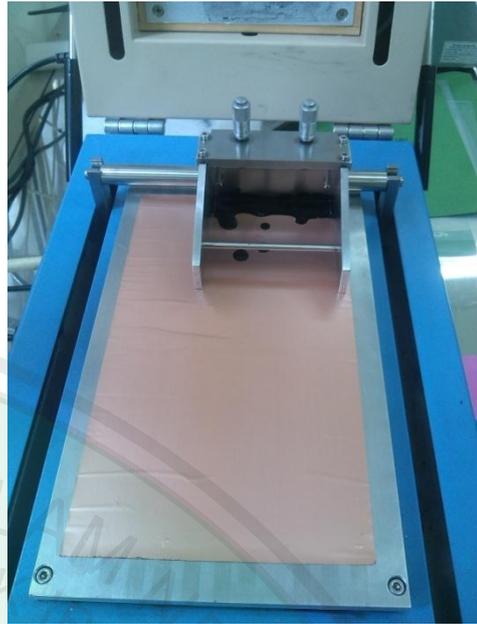
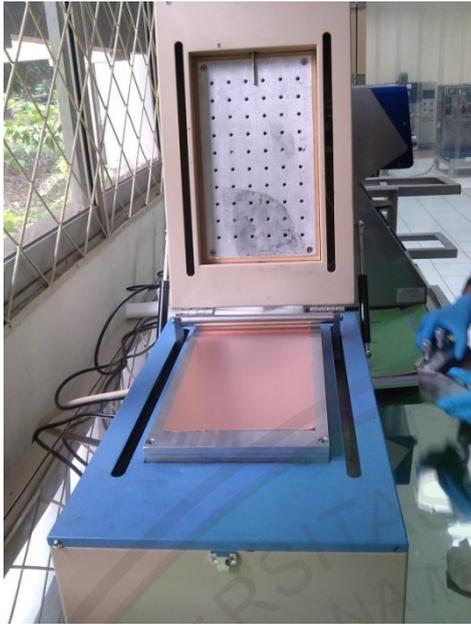
DMAC



Pembuatan slurry



Coating



Coating



Pengujian SEM



Pengujian XRD



Pengujian CV



CV



Assembly baterai



Lampiran 2 Data JCPDS

75-1621		Wavelength= 1.78897			
C	2 θ	Int	h	k	l
Carbon	30.552	999*	0	0	2
	49.437	29	1	0	0
	52.00	138	1	0	1
Graphite	59.240	26	1	0	2
	63.598	50	0	0	4
	70.251	36	1	0	3
Rad.: CuK α 1 λ : 1.54060 Filter:	d-sp: Calculated				
	84.552	6	1	0	4
Cut off: 17.7 Int.: Calculated $1/\text{cor.}$: 2.37					
Ref: Calculated from ICSD using POWD-12+, (1997)					
Ref: Hassel, O., Z. Phys., 25, 317 (1924)					
	100.835	48	1	1	2
	102.558	9	1	0	5
	104.448	7	0	0	6
Sys.: Hexagonal	S.G.: P6 $_3$ mc (186)				
a: 2.47	b:	c: 6.79	A:	C: 2.7490	
α :	β :	γ :	Z: 4	mp:	
Ref: Ibid.					
Dx: 2.224	Dm:	ICSD #: 031170			
Peak height intensity, R-factor: 0.066. PSC: hP4. Mwt: 12.01. Volume[CD]: 35.88.					

Lampiran 3 Data Hasil Uji Charge Discharge

SZ0	Current (μA)	Charge			Discharge		
		Time	μAhr		Time	μAhr	mAhr/g
	300	8,5	42		32	161,19	
	150	63	157,772		163	407,33	
	100	227	380		409	681,99	
	60	636	637,56		1715	1703	

SZ1	Current (μA)	Charge			Discharge		
		Time	μAhr	mAhr/g	Time	μAhr	mAhr/g
	300	37:21	186,82	18,628	28:28,7	142,4	14,24
	150	57:32	143,85	14,385	51:06,1	127,78	12,778
	30	4:31:20.1	138,84	13,584	21:00:53.6	629,47	62,947
	15	39:49:59.1	591,03	59,103	70:17:55.6	1046	104,64

SZ2	Current (μA)	Charge			Discharge		
		Time	μAhr	mAhr/g	Time	μAhr	mAhr/g
	300	06:42.0	33,501	2,2334	19:01	95,098	6,3398
	150	36:54.1	92,312	6,1541	1:05:31.5	163,67	10,911
	100	1:30:58.2	151,71	10,114	2:05:46.3	209,5	13,967
	60	3:12:05.3	192,46	12,831	5:56:33.5	355,37	23,629
	30	10:22:06.5	311,77	20,785	49:03:34.7	1452	96,801

SZ3	Current (μA)	Charge			Discharge		
		Time	μAhr	mAhr/g	Time	μAhr	mAhr/g
	300	50:10.4	250,99	25,099	40:12.0	200,88	20,088
	150	1:21:10.1	203,19	20,319	59:37.1	148,89	14,889
	100	1:30:18.4	150,62	15,062	4:18:24.2	429,69	42,969
	60	7:04:56.5	424,96	42,496	12:15:34.7	736,85	73,685
	30	23:55:07.1	716,22	71,622	34:27:15.5	1023,5	102,35



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : SILFIA MAFTUHATUN NI'MAH
NIM : 12640029
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Pelapisan Bahan Anoda Grafit Menggunakan *Citric acid* Dengan Variasi Temperatur Sintering Untuk Meningkatkan Performa Baterai Ion Lithium
Pembimbing I : Erna Hastuti, M.Si
Pembimbing II : Fadli Rohman, M.Si
Pembimbing III : Umayyatus Syarifah, M.A

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1.	14 Desember 2015	Konsultasi Bab I	
2.	4 Januari 2016	Konsultasi Bab II- III	
3.	18 Januari 2016	Konsultasi Kajian Agama, Bab I-II	
4.	8 Februari 2016	Konsultasi Bab 1-III	
5.	29 Februari 2016	Konsultasi Kajian Agama, Bab 1-II	
6.	14 Maret 2016	Konsultasi Bab IV dan V	
7.	28 Maret 2016	Konsultasi Kajian Agama Dan Bab IV	
8.	11 April 2016	Konsultasi Semua Bab, Abstrak	
9.	2 Mei 2016	Konsultasi Kajian Agama dan Acc	
10.	30 Mei 2016	Konsultasi Semua Bab, Abstrak dan Acc	

Malang, 6 Juni 2016
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Erna Hastuti, M.Si

NIP. 19811119 200801 2 009