



SKRIPSI

**PENGGUNAAN GRAFIT DARI DAUR ULANG
BATERAI ION LITHIUM DENGAN PERLAKUAN
PANAS SEBAGAI MATERIAL ANODA BARU**

**CYNTHIA APRILIA PUTERI
NRP 01 21 15 4000 0090**

**Dosen Pembimbing
Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D.
Suprpto, Ph.D.
Dr. Ir. Bambang Prihandoko, M.T.**

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



SCRIPT

**THE APPLICATION OF GRAPHITE FROM
RECYCLED LITHIUM ION BATTERIES WITH
HEAT TREATMENT FOR NEW ANODE
MATERIALS**

**CYNTHIA APRILIA PUTERI
NRP. 01 21 15 4000 0090**

Advisors

Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D.

Suprpto, Ph.D.

Dr. Ir. Bambang Prihandoko, M.T.

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

**PENGGUNAAN GRAFIT DARI DAUR ULANG
BATERAI ION LITHIUM DENGAN PERLAKUAN
PANAS SEBAGAI MATERIAL ANODA BARU**

SKRIPSI

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

Disusun Oleh:

CYNTHIA APRILIA PUTERI
NRP 01 21 15 4000 0090

DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

HALAMAN PENGESAHAN
PENGGUNAAN GRAFIT DARI DAUR ULANG BATERAI ION
LITHIUM DENGAN PERLAKUAN PANAS SEBAGAI
MATERIAL ANODA BARU

SKRIPSI

Oleh:

CYNTHIA APRILIA PUTERI
NRP. 0121154000090

Surabaya, 15 Juli 2019

Menyetujui

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II



Suprpto, Ph.D
NIP . 19720919 199802 1 002

Pembimbing III



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

Mengetahui,
Kepala Departemen Kimia



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

PENGGUNAAN GRAFIT DARI DAUR ULANG BATERAI ION LITHIUM DENGAN PERLAKUAN PANAS SEBAGAI MATERIAL ANODA BARU

Nama : CYNTHIA APRILIA PUTERI
NRP : 01 21 15 4000 0090
Departemen : Kimia
Pembimbing : 1. Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D.
2. Suprpto, Ph.D.
3. Dr. Ir. Bambang Prihandoko, M.T.

ABSTRAK

Material anoda LIB bekas berhasil digunakan kembali sebagai material anoda baterai ion litium baru melalui pemisahan secara mekanis, pencucian dengan DMC dan NMP, serta pembakaran pada suhu 600°C. Material anoda pada LIB bekas dan LIB baru menunjukkan struktur grafit (JCPDS No. 96-901-1578). Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa perlakuan yang diterapkan berhasil mengurangi pengotor. Pembuatan *slurry* dilakukan dengan perbandingan material aktif : *binder* : adiktif = 85 : 10 : 5, dengan pelarut NMP. Grafit ditambahkan sebanyak 5% dari berat sampel ke dalam material aktif anoda untuk menambah komposisi grafit. Hasil uji performa baterai menunjukkan bahwa penambahan grafit dapat menaikkan arus baterai (2,771 mA) tetapi tidak menaikkan potensial dan kapasitas baterai. Hasil voltametri siklik menunjukkan potensial rata-rata dari anoda LIB bekas (0,118 V) lebih tinggi dibandingkan anoda LIB baru (0,100 V). Hasil *charge-discharge* menunjukkan anoda LIB bekas hasil perlakuan tanpa penambahan grafit memiliki efisiensi tertinggi (98%) dan kapasitas tertinggi (*charge* 148,374 mAh/g dan *discharge* 151,489 mAh/g). Nilai kapasitas yang diperoleh lebih tinggi daripada material anoda tanpa dilakukan perlakuan.

Kata kunci : baterai ion lithium, material anoda, grafit, daur ulang LIB, NMP.

THE APPLICATION OF GRAPHITE FROM RECYCLED LITHIUM ION BATTERIES WITH HEAT TREATMENT FOR NEW ANODE MATERIALS

Name : CYNTHIA APRILIA PUTERI
NRP : 01 21 15 4000 0090
Department : Kimia
Advisor : 1. Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D.
2. Suprpto, Ph.D.
3. Dr. Ir. Bambang Prihandoko, M.T.

ABSTRACT

Used lithium ion battery (LIB) anode material has been successfully reused as a new lithium ion battery anode material by mechanical separation, DMC and NMP washing, and calcination at 600°C. XRD analysis showed that the anode material from used and new LIB shows a graphite structure (JCPDS No. 96-901-1578). The FTIR spectra indicates that treatment has succeeded in reducing impurity. LIB anode slurry was made with a composition of active material: binder: additive = 85: 10: 5, mixed in NMP solvents. Graphite of 5% was added to the anode active material to increase the graphite content in anode materials. The battery performance show that the addition of graphite can increase the battery current (2.771 mA) but does not increase the battery potential and capacity. The cyclic voltammetry analysis shows that the average potential of used LIB anodes (0.118 V) was higher than the new LIB anode (0.100 V). The charge-discharge result shows that the used LIB anode after treated without graphite addition, has the highest efficiency (98%) and capacity (charge 148,374 mAh/g and discharge 151,489 mAh/g). The obtained capacity values were higher than the anode material without treatment.

Keywords : *lithium ion batteries, anode material, graphite, LIB recycle, NMP.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin. Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga Skripsi dengan judul **“Penggunaan Grafit dari Daur Ulang Baterai Ion Lithium dengan Perlakuan Panas sebagai Material Anoda Baru”** dapat diselesaikan. Tulisan ini tidak akan terwujud dengan baik tanpa bantuan dan dukungan dari semua pihak. Untuk itu penulis sangat berterima kasih kepada :

1. Ibu Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D., dan Bapak Suprpto, Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah berkenan membantu, membimbing, mengarahkan dengan sabar, dan selalu memberikan motivasi hingga Skripsi ini selesai.
2. Bapak Dr. Ir. Bambang Prihandoko, M.T., selaku Pembimbing P2F LIPI yang telah memberikan fasilitas, pengarahan, dan bimbingan selama proses penyelesaian Skripsi.
3. Bapak Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc., selaku Kepala Departemen Kimia atas fasilitas yang telah diberikan hingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Ibu Dra. Ita Ulfin, M.Si. selaku Kepala Laboratorium Instrumentasi dan Metode Analisis Kimia, Departemen Kimia yang telah memberikan fasilitas selama pengerjaan Skripsi ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Kimia, Fakultas Sains yang telah memberikan ilmu selama proses perkuliahan ini.
6. Mama, Papa, dan kedua kakakku yang selalu memberikan motivasi dan doa yang tiada henti.
7. Sahabat-sahabatku sejak 10 tahun lalu, Ullimaz Zerlinda, Vinandia Megavici, Ni Putu Ayu, Indika Farahtana, dan Andyani Surya, yang saling menyemangati, menemani, dan menghibur di saat apapun sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
8. Sahabatku, Erni Dianasari, Mutiara Nur Amalia, Nirwana Arcella A. K. H., Badzlin Nabilah, Aqila Ramadhaniah, yang telah setia menjadi tempat untuk mendengar, memberi motivasi, serta menemani dalam setiap susah dan senang.

9. Teman-teman Laboratorium Instrumentasi dan Metode Analisis Kimia, yang menemani, menghibur, dan selalu menjadi motivasi penulis untuk menyelesaikan Skripsi ini.
10. Teman-teman anggota penelitian, Adelia Riska, Camelia Maharani, dan Diajeng Aulina yang saling memotivasi dan bertukar pikiran untuk menyelesaikan Skripsi ini.
11. Teman-teman satu bimbingan penelitian, Ita S., Ivva R., Puri, K.P., Dewi K. S., Amalia, Nadia L., Aristin K. A., Putri A. S., dan Cantika A., yang saling menyemangati dan menghibur.
12. CFC-nita dan CARBON-nita atas pengalaman yang luar biasa di bidang olahraga selama penulis menempuh pendidikan sarjana di Kimia ITS.
13. Teman-teman Karate-Do ADVANCE atas pengalaman luar biasa yang telah kita lalui bersama-sama.
14. Teman-teman mahasiswa Kimia ITS, khususnya keluargaku angkatan 2015, GOLDSCHMIDT.
15. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi yang tidak mungkin saya sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan skripsi ini tidak lepas dari kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk dapat meningkatkan kualitas dan perbaikan lebih lanjut.

Surabaya, 21 Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II.....	7
2.1 Baterai	7
2.1.1 Jenis-Jenis Baterai.....	7
2.1.1.1. Baterai Primer	7
2.1.1.2. Baterai Sekunder.....	8
2.2 Baterai Ion Lithium (LIB)	9
2.2.1 Elektroda	12
2.2.2 Elektrolit	17
2.2.3 Separator	20
2.2.4 Prinsip Kerja Baterai Ion Lithium.....	20
2.2.5 <i>Solid Electrolyte Interphase</i> (SEI).....	23
2.3 Karbon sebagai Material Anoda Baterai Ion Lithium	24
2.3.1 Jenis-Jenis Karbon	26
2.4 Sifat Bahan yang digunakan.....	29
2.4.1 NMP.....	29
2.4.2 DMC	30
2.4.3 <i>Carbon Black Super P</i>	30
2.4.4 PVDF	31
2.4.5 LiPF ₆	32
2.5 Karakterisasi dan Pengujian	33
2.5.1 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	33
2.5.2 <i>X-Ray Powder Diffraction</i> (XRD)	35

2.5.3 Uji Voltametri Siklik.....	38
2.5.4 Uji <i>Charge-Discharge</i>	40
2.6 Penelitian Sebelumnya	41
BAB III	45
3.1 Alat dan Bahan	45
3.2 Prosedur Penelitian	46
3.2.1 Preparasi Sampel.....	46
3.2.2 Variasi Sampel	46
3.2.3 Pembuatan <i>Slurry</i> dan <i>Coating</i>	48
3.2.4 <i>Assembly</i> Koin Sel	48
3.3 Karakterisasi Material	49
3.3.1 Karakterisasi <i>X-Ray Powder Diffraction (XRD)</i>	49
3.3.2 Karakterisasi <i>Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)</i>	50
3.4 Evaluasi Peforma Baterai	50
3.4.1 Voltametri Siklik.....	50
3.4.2 <i>Charge-Discharge</i>	50
BAB IV	53
4.1 Karakterisasi Material Anoda pada LIB	53
4.1.1 Hasil Karakterisasi XRD.....	53
4.1.2 Hasil Karakterisasi FTIR.....	55
4.2 Hasil <i>Assembly</i> Sel Baterai Ion Litium.....	59
4.3 Evaluasi Performa Baterai Ion Lithium.....	60
4.3.1 Hasil Pengujian Voltametri Siklik	61
4.3.2 Hasil Pengujian <i>Charge-Discharge</i>	65
BAB V	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	79
BIODATA PENULIS	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen pada baterai ion lithium.....	10
Gambar 2.2	Representasi <i>host</i> satu, dua, dan tiga dimensi.....	13
Gambar 2.3	Skematik material elektroda pada baterai ion Li, menggunakan katoda <i>lithium metal oxide</i> dan anoda grafit.....	14
Gambar 2.4	Skema prinsip kerja baterai ion lithium.....	21
Gambar 2.5	Berbagai bentuk interkalasi Li pada grafit.....	22
Gambar 2.6	Ilustrasi skematis SEI pada grafit	24
Gambar 2.7	Lithium diantara bidang grafit	25
Gambar 2.8	Struktur <i>soft carbon</i> , <i>hard carbon</i> , dan grafit beserta kapasitas spesifiknya.....	27
Gambar 2.9	Struktur <i>N-methylpyrrolidone</i>	29
Gambar 2.10	Struktur <i>Dimethyl carbonate</i>	30
Gambar 2.11	<i>Carbon Black Super P</i>	31
Gambar 2.12	Struktur <i>Polyvinylidene fluoride</i>	32
Gambar 2.13	Struktur <i>Lithium hexafluorophosphate</i>	33
Gambar 2.14	Skema kerja spektroskopi FTIR	34
Gambar 2.15	Spektrum FTIR <i>graphene</i> oksida	34
Gambar 2.16	Skema instrumen XRD	36
Gambar 2.17	Proses pembentukan puncak XRD	36
Gambar 2.18	Pola XRD teoritis untuk senyawa dalam sistem Li_xC_6	37
Gambar 2.19	Kurva CV dengan variasi <i>scan rate</i> pada sampel karbon aktif dari bambu.....	39
Gambar 2.20	Kurva pengukuran <i>charge/discharge</i> LiMn_2O_4	41
Gambar 3.1	Susunan koin sel untuk elektroda setengah sel	49
Gambar 4.1	Hasil karakterisasi XRD material anoda LIB baru dan LIB bekas	53
Gambar 4.2	(a) Hasil karakterisasi material anoda LIB baru dan LIB bekas, (b) Puncak spesifik XRD beberapa bentuk interkalasi ion Li^+ pada grafit.	54
Gambar 4.3	Hasil karakterisasi FTIR bahan anoda LIB baru dan LIB bekas.....	57

Gambar 4.4 Hasil karakterisasi FTIR bahan anoda LIB baru dan LIB bekas dengan pembakaran	58
Gambar 4.5 Hasil voltametri siklik LIB dengan material anoda hasil perlakuan	62
Gambar 4.6 Kurva <i>charge-discharge</i> material anoda hasil perlakuan.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data perbandingan kinerja beberapa baterai sekunder	9
Tabel 2.2	Data beberapa material anoda	15
Tabel 2.3	Karakteristik beberapa material katoda	16
Tabel 2.4	Potensial oksidasi berbagai garam dan kombinasi elektroda kerja dalam elektrolit berbasis PC	18
Tabel 2.5	Hasil karakterisasi <i>graphene</i> oksida doping MgB ₂ menggunakan FTIR	35
Tabel 3.1	Variasi material aktif sampel anoda	47
Tabel 4.1	Hasil karakterisasi FTIR material anoda baterai ion lithium.....	56
Tabel 4.2	Hasil karakterisasi FTIR material anoda baterai ion lithium setelah dilakukan perlakuan.	58
Tabel 4.3	Data nilai arus puncak anodik LIB dengan material anoda tanpa perlakuan dan dengan perlakuan.....	63
Tabel 4.4	Massa material aktif anoda yang diuji.....	65
Tabel 4.5	Nilai kapasitas spesifik dan efisiensi sampel LIB yang diuji.....	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi mendorong perangkat elektronik seperti *handphone*, laptop, dan tablet semakin banyak diminati konsumen dari tahun ke tahun. Badan Pusat Statistik, pada tahun 2017, melaporkan pengguna ponsel di Provinsi Jawa Timur terus meningkat setiap tahunnya, yakni 45,74% (2012), 47,73% (2013), 49,90% (2014), 55,29% (2015), 57,21% (2016), dan 58,30% (2017). Baterai sebagai sumber energi perangkat elektronik *portable* juga mengalami kenaikan produksi sebagai dampak meningkatnya permintaan konsumen. Baterai yang umum digunakan pada perangkat elektronik *portable* seperti kamera, *handphone*, dan laptop, menggunakan jenis baterai ion lithium (LIB) karena memiliki bobot sangat ringan dan mempunyai kapasitas penyimpanan yang lebih baik (Wigayati, 2009). Moradi dan Botte, pada tahun 2016, menjelaskan bahwa jenis baterai ion lithium digunakan karena memiliki tingkat *self-discharge* yang rendah, tingkat kapasitas yang tinggi (1C), perilaku pengisian yang sangat baik (mencapai 1200 siklus), kepadatan energi yang tinggi, daya tahan terhadap suhu yang baik, waktu hidup yang lama, dan tidak ada *memory effect*.

LIB pada umumnya terdiri dari anoda, katoda, separator, elektrolit, dan selubung luar. LIB komersial saat ini menggunakan berbagai jenis oksida dan fosfat sebagai bahan katoda, seperti LiCoO_2 , LiMn_2O_4 , LiFePO_4 , dan lain-lain (Huang, dkk., 2018). Anoda pada sebagian besar LIB komersial menggunakan grafit, karena grafit dapat menyimpan ion lithium dengan baik ketika dilakukan pengisian dan memiliki

stabilitas siklus dalam jangka panjang. Elektrolit yang sering digunakan pada LIB adalah garam lithium (seperti LiClO_4 , LiNiO_2 , dan LiPF_6) yang dilarutkan dalam pelarut organik (Moradi dan Botte, 2016).

Suhu menjadi salah satu faktor terjadinya kerusakan pada baterai ion lithium. Hisan, dkk., pada tahun 2016, menjelaskan bahwa suhu yang berlebihan dapat memberikan beberapa efek pada kinerja baterai seperti, *overcharge*, *short circuit*, atau bahkan terjadi ledakan pada baterai. Kinerja baterai juga menjadi kurang optimal, karena kenaikan suhu menyebabkan penurunan nilai impedansi sehingga baterai menjadi lebih reaktif. Hal ini menyebabkan kerusakan pada baterai ion lithium (LIB) yang lebih awal terjadi sebelum umur pemakaian normalnya habis. Kerusakan pada baterai mudah dikenali, seperti bentuk baterai yang melembung, ketidakstabilan daya pada baterai, hingga baterai tidak dapat dilakukan pengisian daya (*charge*).

Konsumen tentunya akan mengganti baterai yang sudah tidak dapat lagi digunakan dengan yang baru, sehingga menimbulkan limbah elektronik. Boyden, dkk., pada tahun 2016, menyatakan bahwa limbah dari peralatan elektronik dan listrik adalah salah satu jenis limbah yang paling cepat berkembang, dengan volumenya diperkirakan meningkat sepertiga kalinya pada tahun 2013 (48,9 juta ton) hingga 2017 (65,4 juta ton). Peningkatan jumlah limbah membutuhkan lebih banyak lahan untuk pembuangan dan meningkatkan jumlah bahan kimia berbahaya yang akhirnya masuk kembali ke lingkungan.

Limbah baterai ini dapat dikurangi dengan melakukan daur ulang baterai, yaitu memanfaatkan kembali bahan-bahan pada baterai bekas yang dapat digunakan kembali sebagai

komponen baterai baru. Moradi dan Botte, pada tahun 2016, menjelaskan bahwa keseluruhan berat baterai terdiri dari suatu komposisi yaitu 5–20% kobalt, 5–10% nikel, 5–7% lithium, 15% pelarut organik, 7% plastik, 12–21% karbon, dan sisanya merupakan tembaga, aluminum, dan besi. Komponen-komponen dalam baterai lithium, dapat dipisahkan secara mekanik maupun elektrostatis. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memisahkan komponen-komponen logam yang dapat dimanfaatkan kembali pada LIB. Yuliusman, pada tahun 2016, melakukan pemurnian logam lithium dan kobalt menggunakan metode *leaching* dengan asam sitrat. Hasil proses *leaching* menunjukkan persentase *leaching* yaitu 98,08% untuk logam lithium dan 86,28% untuk logam kobalt. Grafit sebagai bahan anoda pada baterai ion lithium juga berpotensi untuk dilakukan daur ulang. Hal ini dikarenakan komposisi karbon yang cukup besar pada baterai ion lithium, yaitu sekitar 12–21% dari total komposisi penyusun LIB.

Daur ulang grafit sebagai bahan anoda pada LIB memiliki beberapa manfaat antara lain mengurangi limbah elektronik dan menyediakan sumber grafit yang lebih ekonomis dengan kualitas yang baik. Anoda cenderung lebih mudah dipisahkan dari lembaran tembaga jika dibandingkan katoda menggunakan pemisahan secara mekanik. Linden, pada tahun 2002, menjelaskan bahwa pengikat polimer yang digunakan pada grafit untuk meningkatkan kohesi mekanik dan konduksi listrik, memberikan sifat yang buruk pada permukaan logam, sehingga anoda dengan mudah dipisahkan dari lembaran tembaga melalui cara mekanis. Silveira, dkk., pada tahun 2017, menunjukkan bahwa proses penggilingan, pengayakan, dan pemisahan elektrostatis efektif untuk memisahkan komponen logam dan non-logam pada LIB.

Penelitian tersebut menunjukkan pemisahan komponen pada baterai secara garis besarnya. Penelitian ini akan difokuskan untuk memperoleh material grafit sebagai anoda baterai ion lithium menggunakan pemisahan secara mekanis.

Anoda pada LIB bekas dipisahkan secara mekanis, kemudian dilakukan perlakuan untuk menghilangkan pengaruh *binder* dan pelarut yang telah kering pada material anoda. Perlakuan yang dilakukan berupa pencucian dan pembakaran. Pembakaran dengan furnace bertujuan untuk mengubah pengaruh *binder* dan pelarut menjadi karbon. Performa baterai diharapkan lebih bagus dengan memperbaiki komposisi dari material anoda. Hal ini dilakukan dengan penambahan grafit pada material anoda setelah dilakukan pembakaran. Hasil dari perlakuan ini, diharapkan material anoda dapat digunakan menjadi anoda baterai ion lithium baru.

1.2 Rumusan Masalah

Daur ulang material anoda LIB menjadi material anoda LIB baru, melalui pemisahan mekanis dan perlakuan panas dilakukan untuk mengurangi limbah baterai. Kapasitas material anoda bekas diukur untuk mengetahui performa kerja anoda, melalui uji voltametri siklik dan *charge discharge*.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini difokuskan pada penggunaan kembali material anoda LIB bekas dan membandingkan karakteristiknya dengan anoda LIB baru. LIB yang digunakan merupakan baterai laptop NCR 18650. Metode yang digunakan adalah pemisahan secara mekanis dengan perlakuan, yaitu pencucian (menggunkan DMC dan NMP) serta pembakaran pada suhu 600°C dengan aliran gas N₂. Komposisi *slurry* yang

digunakan yaitu material aktif : *binder* : adiktif = 85 : 10 : 5 dengan pelarut NMP dan elektrolit LiPF₆. Variasi penambahan berat grafit yang digunakan adalah 0% dan 5%. Pada penelitian ini dilakukan uji setengah sel menggunakan katoda Li metal. Material anoda dikarakterisasi dengan FTIR dan XRD, performa baterai diuji dengan voltametri siklik dan *charge discharge*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan material anoda LIB baru dari daur ulang LIB dengan pemisahan mekanis dan perlakuan panas, serta untuk mengetahui kapasitas material anoda yang dihasilkan melalui uji voltametri siklik dan *charge discharge*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui pemisahan anoda baterai lithium secara mekanis, mengetahui karakteristik bahan anoda dari LIB, serta mengetahui pengaruh perlakuan panas dan penambahan grafit pada performa LIB hasil daur ulang. Material anoda hasil daur ulang LIB, berhasil didapatkan pada penelitian ini, sehingga dapat mengurangi limbah elektronik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baterai

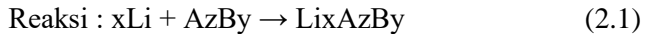
Baterai merupakan salah satu alat penyimpan energi khususnya pada perangkat elektronik *portable* seperti laptop, kamera, *handphone*, lampu meja, dan lain-lain. Baterai umumnya berukuran kecil, dapat diisi ulang, dan murah. Hal ini menyebabkan penelitian mengenai baterai semakin dikembangkan sebagai sumber energi alternatif. Baterai merubah energi kimia menjadi energi listrik, energi listrik inilah yang dimanfaatkan sebagai sumber daya pada perangkat elektronik *portable*. Dalam sebuah sel, energi listrik dihasilkan dengan jalan pelepasan suatu elektron pada elektroda (oksidasi) dan penerimaan elektron pada elektroda lainnya (reduksi) (Ni'mah, 2016). Output arus listrik dari baterai adalah arus searah atau disebut juga dengan arus DC (*Direct Current*) (Aziz, 2018). Teknologi baterai saat ini mengedepankan ukuran dan massa baterai yang kecil dengan kapasitas baterai yang besar. Baterai hingga saat ini masih terus dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Secara umum, terdapat dua jenis baterai yang digunakan yaitu baterai primer dan baterai sekunder.

2.1.1 Jenis-Jenis Baterai

2.1.1.1. Baterai Primer

Baterai primer merupakan jenis baterai yang dapat digunakan sekali pakai (*single use*). Hal ini disebabkan karena reaksi kimia material aktifnya *irreversible*, sehingga setelah kapasitas baterai habis, baterai tidak dapat digunakan kembali. Reaksi kimia dari material aktif baterai dapat dilihat pada

persamaan 2.1. Baterai primer umumnya lebih sering ditemukan di pasaran, berbentuk silinder berukuran kecil, dan harganya relatif murah. Perangkat elektronik yang menggunakan baterai jenis ini antara lain lampu senter, *remote*, mainan anak, jam, lampu meja, dan lain-lain. Beberapa tipe baterai yang termasuk dalam baterai primer antara lain baterai *zinc-carbon*, baterai merkuri, dan baterai alkalin (Sari, 2016).

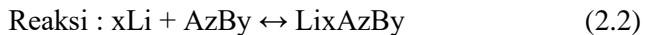


Discharge

2.1.1.2. Baterai Sekunder

Baterai sekunder merupakan jenis baterai yang dapat digunakan berulang kali karena material aktif didalam baterai dapat digunakan kembali. Reaksi material aktif dari baterai dapat dilihat pada persamaan 2.2. Kelebihan dari baterai sekunder adalah harganya lebih efisien untuk penggunaan jangka waktu yang panjang (Manurung, 2015). Pada baterai sekunder dapat terjadi pengisian (*charge*) dan pengosongan (*discharge*) karena reaksi pada baterai ini berlangsung bolak-balik (*reversible*).

Charge



Discharge

(Sari, 2016)

Baterai sekunder banyak dikembangkan untuk menggantikan baterai primer, karena lebih menghemat sumber daya dan dapat mengurangi limbah. Baterai yang termasuk kedalam jenis baterai sekunder diantaranya adalah timbal asam (aki), *nickel metal hydride* (Ni-MH), *nickel-cadmium* (Ni-Cd) dan *lithium ion batteries* (LIB). Baterai ion lithium (LIB) merupakan baterai yang paling banyak dikembangkan. Baterai

ion lithium memiliki siklus hidup yang panjang, yakni sekitar 500 hingga 1000 siklus dan kapasitas spesifiknya lebih tinggi daripada baterai sekunder yang lain (Sari, 2016).

Tabel 2. 1 Data perbandingan kinerja beberapa baterai sekunder (Marpaung, 2017).

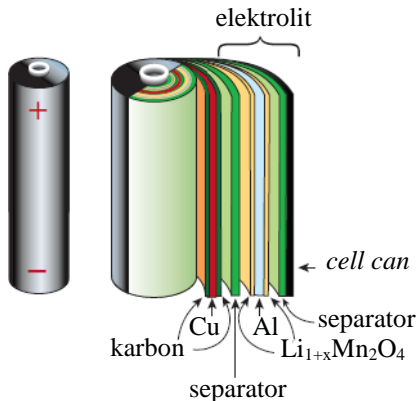
Tipe Baterai	Potensial (V)	Densitas Energi (Wh/kg)	Densitas Energi (Wh/cm ³)
Ni-Cd	1,2	40	100 x 10 ³
Ag-Zn	1,5	110	220 x 10 ³
Ni-MH	1,2	90	245 x 10 ³
Li-ion	3,6	155	400 x 10 ³
Li-Polimer	3,6	180	380 x 10 ³

2.2 Baterai Ion Lithium (LIB)

Penelitian mengenai baterai ion lithium dimulai dari baterai lithium metal dan penemuan mengenai interkalasi pada elektroda positif seperti TiS₂ pada tahun 1970-an. Kemudian disusul dengan penemuan oksida berlapis oleh Goodenough, yaitu LiCoO₂ dan penemuan tentang elektrolit yang dapat memungkinkan adanya siklus reversibel dari anoda grafit. SONY mengkomersilkan baterai ion lithium pertamanya pada tahun 1991, baterai ini dapat diisi ulang, menggunakan katoda LiCoO₂ dengan grafit sebagai anoda (Kam dan Doeff, 2012). Baterai ion lithium merupakan *removeable battery* yang dapat dilepas pada perangkat elektronik (Aziz, 2018). Sehingga, saat baterai mengalami ketidakstabilan daya (*drop*), melembung, rusak, atau tidak dapat melakukan pengisian daya, baterai dapat

dengan mudah dilepas dan diganti. Lithium dipilih karena jauh lebih elektropositif dibandingkan hidrogen, dengan potensial standar yang tinggi (Li: $-3,01$ V), memungkinkan realisasi tegangan yang lebih tinggi secara signifikan. Lithium juga memiliki densitas yang rendah, sehingga memiliki berat ekuivalen yang rendah (Li: $0,259$ gAh⁻¹; Cd: $2,10$ gAh⁻¹; AB₅: $3,30$ gAh⁻¹) (Zhang, 2001).

Baterai Ion Lithium (LIB) merupakan jenis baterai yang paling banyak digunakan sebagai sumber daya perangkat elektronik *portable* seperti laptop dan *hanphone*. Komponen baterai ion lithium ditunjukkan pada Gambar 2. 1. Baterai ion lithium dapat diisi ulang dikarenakan reaksi elektrokimianya yang bersifat *reversible* sehingga baterai sekunder dapat mengonversi energi kimia menjadi energi listrik pada proses *discharge* dan mengonversi energi listrik menjadi energi kimia pada proses *charge* (Satriady, dkk., 2016).

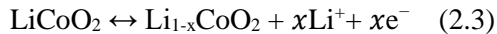


Gambar 2. 1 Komponen pada baterai ion lithium (Tarascondan Armand, 2001).

Baterai ion lithium yang biasa digunakan pada perangkat laptop dan *handphone* merupakan LIB jenis *Lithium*

Cobalt Oxide (LCO) (Aziz, 2018). Reaksi LCO dalam baterai ion lithium pada perangkat laptop dan *handphone* ditunjukkan pada persamaan 2.3 sampai 2.5. Namun, unsur kobalt pada baterai LCO merupakan logam berat yang berbahaya apabila masuk ke lingkungan. Kobalt juga memiliki harga yang relatif mahal, bersifat reaktif, dan tidak stabil pada temperatur tinggi sehingga rentan terjadi ledakan.

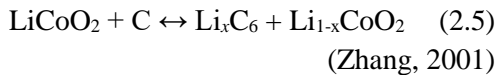
Elektroda Positif:



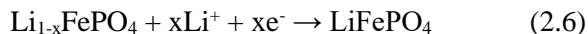
Elektroda Negatif:



Reaksi Keseluruhan:



LiFePO_4 memiliki berbagai keunggulan diantaranya harga rendah, potensial kerja tinggi, kapasitas spesifik tinggi (170 mAh/g dibandingkan 100 mAh/g pada LiCoO_2), memiliki kestabilan yang baik pada suhu tinggi, *life cycle* yang panjang (lebih dari 1000 siklus pemakaian) dan ramah lingkungan (Satriady, dkk., 2016). Reaksi redoks yang terjadi pada baterai ion lithium dengan katoda LiFePO_4 dan anoda LiC_6 ditunjukkan pada persamaan 2.6 dan 2.7.



Secara umum kelemahan dari baterai ion lithium antara lain:

- a) Umur baterai tidak lebih dari umur pemakaian normal (tiga tahun) jika terus menerus digunakan pada suhu tinggi.

- b) Ukuran dan berat baterai akan bertambah jika membutuhkan kapasitas Ah/kg yang lebih besar, seperti ukuran baterai pada laptop yang lebih besar daripada ukuran baterai *handphone*.
- c) Resiko terjadinya ledakan akan lebih besar apabila sering digunakan pada suhu tinggi (Aziz, 2018).

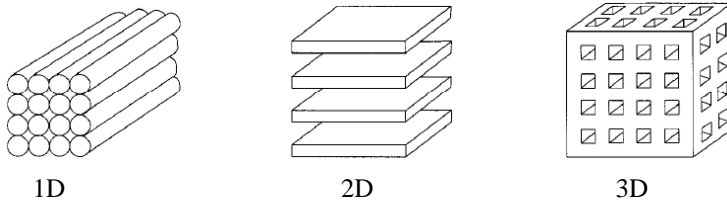
Beberapa kelemahan LIB tersebut menyebabkan banyaknya limbah dari LIB yang penting untuk dilakukan pengolahan agar tidak mencemari lingkungan. Baterai ion lithium terdiri dari beberapa komponen penting, yaitu elektroda (katoda dan anoda), separator, dan elektrolit. Komponen-komponen tersebut dikemas dalam suatu wadah dan dihubungkan ke *current collector* atau terminal.

2.2.1 Elektroda

Elektroda pada baterai ion lithium terdiri dari elektroda positif dan elektroda negatif. Elektroda positif atau katoda, merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi, sedangkan elektroda negatif atau anoda merupakan tempat terjadinya reaksi oksidasi. Reaksi reduksi-oksidasi dalam baterai ion lithium terjadi secara *reversible* sehingga kedua elektroda ini sangat penting. Pengisian (*charge*) dan pengosongan (*discharge*) terjadi karena adanya interkalasi, yaitu migrasi ion lithium dari katoda ke anoda melalui elektrolit. Perpindahan ini terjadi selama dilakukan *charge* dan akan kembali pada saat digunakan (*discharge*).

Keunggulan suatu bahan anoda dan katoda terletak pada stabilitas kristal dalam proses interkalasi. Sehingga bahan elektroda harus mempunyai tempat bagi perpindahan ion lithium yang sering disebut *host*. Oleh karena itu bahan elektroda harus mempunyai struktur *host* dengan variasi

interkalasi yang berbeda-beda (Nasution, 2015). Pada umumnya, bahan memiliki tiga model interkalasi berdasarkan struktur dari *host*-nya, yaitu interkalasi satu dimensi, dua dimensi dan tiga dimensi seperti pada Gambar 2.2.



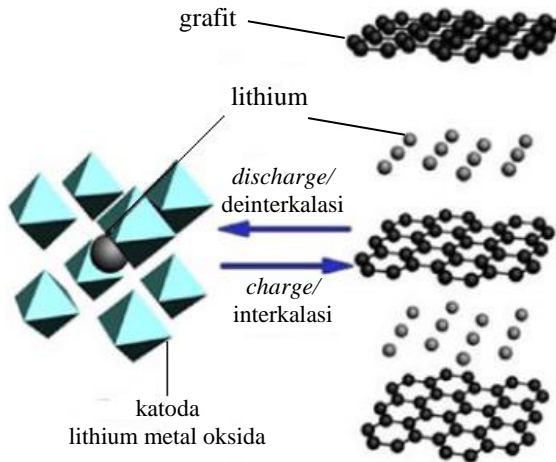
Gambar 2. 2 Representasi *host* satu, dua, dan tiga dimensi (Winter, dkk., 1998).

2.2.1.1. Anoda

Anoda disebut juga elektroda negatif, dimana pada anoda terjadi reaksi oksidasi. Elektroda negatif pada baterai ion lithium yang paling umum digunakan adalah grafit. Atom karbon dalam grafit disusun dalam lapisan halus yang berikatan bersama oleh ikatan Van der Waals. Lithium dapat bergerak di antara lapisan dan disimpan pada pusat cincin karbon, sehingga memungkinkan satu lithium disimpan pada setiap enam karbon, membentuk LiC_6 (Marpaung, 2017).

Pemilihan material anoda merupakan hal penting pada baterai ion lithium, karena penggunaan Li metal sebagai material anoda, dapat membentuk dendrit yang dapat menyebabkan hubungan arus pendek (*short circuiting*), menyebabkan panas pada katoda, dan menyebabkan baterai mudah terbakar (Nitta, dkk., 2015). Pada susunan baterai ion lithium, anoda merupakan Cu *foil* yang terlapsi bahan aktif anoda. Selain grafit, beberapa material anoda lain juga diteliti, beberapa karakteristiknya terdapat pada Tabel 2.2. Grafit

sebagai material anoda baterai ion lithium memiliki kapasitas spesifik secara teori sebesar 372 mAh/g dengan potensial sebesar 0,5 V vs. Li/Li^+ (Bresser, dkk., 2015).



Gambar 2. 3 Skematik material elektroda pada LIB, menggunakan katoda *lithium metal oxide* dan anoda grafit (Marpaung, 2017).

Anoda pada umumnya tersusun oleh karbon (seperti grafit dan karbon berat) sebagai bahan dasar dengan komposisi 90% dan bahan pengikat/ *binder* dengan komposisi 10% (Marpaung, 2017). Komposisi 90% berasal dari material aktif dan bahan adiktif, yang terdiri dari 85% material aktif dan 5% bahan adiktif seperti pada penelitian Hao, dkk., pada tahun 2005 dan Uthaisar, dkk., pada tahun 2013, yang menggunakan pelarut NMP dan Ni'mah, pada tahun 2016, yang menggunakan pelarut DMAC. Baterai ion lithium umumnya menggunakan grafit sebagai anoda, yang bekerja pada -2,5 V vs SHE, dan bahan interkalasi yang lain umumnya. Grafit sebagai anoda

pada baterai ion lithium dengan katoda *lithium metal oxide*, ditunjukkan pada Gambar 2.3.

Tabel 2. 2 Data beberapa material anoda (Nitta, dkk., 2015).

Material	Potensial lithiasi (V)	Potensial delithiasi (V)	D (cm ² s ⁻¹)	Perubahan volume
Grafit	0,07; 0,10; 0,19	0,10; 0,14; 0,23	10 ⁻¹¹ –10 ⁻⁷	10%
LTO	1,55	1,58	10 ⁻¹² –10 ⁻¹¹	0,20%
Si	0,05; 0,21	0,31; 0,47	10 ⁻¹³ –10 ⁻¹¹	270%
Ge	0,20; 0,30; 0,50	0,50; 0,62	10 ⁻¹² –10 ⁻¹⁰	240%
Sn	0,40; 0,57; 0,69	0,58; 0,70; 0,78	10 ⁻¹⁶ –10 ⁻¹³	255%
Li ₂ O	N/A	N/A	5 x 10 ⁻¹² – 5 x 10 ⁻¹⁰	N/A

2.2.1.2. Katoda

Katoda pada baterai berfungsi sebagai elektroda positif. Menurut Nasution, pada tahun 2015, pada baterai ion lithium, katoda sebagai material utuh menyediakan sumber ion lithium untuk reaksi interkalasi. Sifat fisik, struktur, dan elektrokimia bahan katoda sangat penting untuk kinerja baterai. Sifat utama yang diperlukan bahan katoda antara lain memiliki potensial *discharge* yang tinggi, kapasitas energinya tinggi, densitas dayanya tinggi, siklus hidupnya panjang, memiliki sifat kimia yang stabil, tidak beracun, dan murah. Karakteristik dari beberapa material katoda ditunjukkan pada Tabel 2. 3.

Tabel 2. 3 Karakteristik beberapa material katoda (Nitta, dkk., 2015).

Katoda	Kapasitas Spesifik (mAh/g) (teoritis/eksperimen/ baterai komersial)	Kapasitas Volumetrik (mAh/cm ³) (teoritis/ baterai komersial)	Beda Potensial rata-rata (V)
LiTiS ₂	225/210	697	1,9
LiCoO ₂	274/148/145	1363/550	3,8
LiNi _{0,33} Mn _{0,33} Co _{0,33} O ₂	280/160/170	1333/600	3,7
LiNi _{0,8} Co _{0,15} Al _{0,05} O ₂	279/199/200	1284/700	3,7
LiMn ₂ O ₄	148/120	596	4,1
LiFePO ₄	170/165	589	3,1

Interkalasi pada katoda merupakan jaringan *host* yang solid, yang dapat menyimpan ion tamu. Ion tamu dapat dimasukkan dan dikosongkan dari jaringan *host* secara bolak-balik. Dalam baterai ion lithium, Li⁺ merupakan ion tamu dan senyawa jaringan *host* adalah kalkogenida logam, oksida logam transisi, dan senyawa polianion (Nitta, dkk., 2015).

Beberapa contoh material katoda yang umum digunakan antara lain LCO (*lithium cobalt oxide*), LMO (*lithium manganese oxide*), NCM (*nickel cobalt manganese oxide*), NCA (*nickel cobalt aluminum oxide*), LCP (*lithium cobalt phosphate*), LFP (*lithium iron phosphate*), LFSF (*lithium iron fluorosulfate*), dan LTS (*lithium titanium sulfide*). Material-material katoda tersebut memiliki kegunaan yang berbeda-beda. Seperti LCO (*lithium cobalt oxide*) yang umum digunakan sebagai baterai ion lithium pada perangkat

handphone dan laptop. Sedangkan LMO (*lithium manganese oxide*) lebih umum digunakan pada perangkat medis.

Katoda disusun dari campuran bahan elektroda (90%), aditif konduktif (6%), bahan pengikat (4%), dan dilapiskan pada arus kolektor. *Polimer fluorocarbon*, seperti *Polytetra Fluoroethylene* (PTFE), *Polyvinylidene-difluoride* (PVDF), dan *Polyvinyl-fluoride* (PVF) biasanya digunakan sebagai pengikat untuk menghubungkan setiap partikel dari bahan elektroda. Al Foil biasanya digunakan sebagai arus kolektor, karena harus bertahan dengan kondisi oksidasi yang tinggi ($\sim 4\text{V}$ vs Li^+/Li) (Marpaung, 2017).

2.2.2 Elektrolit

Elektrolit adalah sebuah material yang memberikan konduktifitas ionik murni antara elektroda positif dan elektroda negatif pada sebuah sel (Marpaung, 2017). Karakteristik yang perlu dimiliki elektrolit adalah konduktifitas ionik tinggi, sekaligus konduktifitas elektronik yang rendah sehingga mampu menghantarkan ion selama proses reaksi reduksi-oksidasi terjadi antara elektroda positif dan elektroda negatif tanpa terjadi kebocoran arus elektron (Subhan, 2011). Li, dkk., pada tahun 2016, menjelaskan bahwa elektrolit merupakan komponen inert dalam baterai yang menunjukkan kestabilan terhadap permukaan katoda dan anoda. Selama operasi, elektrolit seharusnya tidak mengalami perubahan kimiawi pada baterai, dan semua proses *Faradaic* diharapkan terjadi di dalam elektroda. Berdasarkan wujudnya, elektrolit terbagi menjadi dua jenis, yaitu elektrolit padat dan elektrolit cair.

2.2.2.1 Elektrolit Cair

Elektrolit cair merupakan elektrolit yang paling umum digunakan pada baterai ion lithium. Kualitas suatu elektrolit dapat dilihat dari kapasitas yang dihasilkan oleh suatu baterai, stabilitas elektrolit, dan nilai potensialnya. Beberapa contoh elektrolit dapat dilihat pada Tabel 2.4.

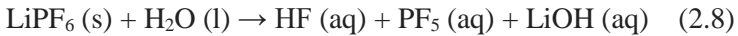
Tabel 2. 4 Potensial oksidasi berbagai garam dan kombinasi elektroda kerja dalam elektrolit berbasis PC (Wang,dkk., 2015).

Elektroda	Potensial Oksidasi (vs. Li/Li ⁺) (V)				
	LiClO ₄	LiPF ₆	LiAsF ₆	LiBF ₄	LiCF ₃ SO ₃
Pt	4,25	-	4,25	4,25	4,25
Ni	4,20	-	-	-	-
Au	4,20	-	4,45	4,10	4,50
Al	4,00	6,20	-	4,60	-
LiCoO ₂	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20

Material elektrolit yang paling umum digunakan dalam baterai ion lithium adalah *lithium hexafluorophosphate* (LiPF₆) dengan konduktivitas yang mencapai > 10 mS/cm dalam larutan alkil karbonat seperti *ethylene carbonate* (EC) dan *propylene carbonate* (PC), serta ester linear seperti *dimethyl carbonate* (DMC), *ethyl methyl carbonate* (EMC), dan *diethyl carbonate* (DEC) (Lestariningsih, dkk., 2016).

Garam Li seperti *Lithium hexafluorophosphate* (LiPF₆) atau *Lithium perchlorate* (LiClO₄) biasanya digunakan sebagai zat terlarut pada elektrolit. Garam Li ini tidak stabil dalam air dan mudah terurai, serta menghasilkan jenis asam seperti HF atau HCl seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.8. Jumlah air pada sel baterai harus di bawah level ppm karena jenis asam

yang dihasilkan tersebut dapat membuat bahan elektroda dan arus kolektor berkarat (Marpaung, 2017).



Yang, dkk., pada tahun 2010, meneliti reaksi elektrolit LiPF_6 1 M dalam EC/DMC/DEC 1:1:1 dengan elektroda $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$ (LNMO) pada potensial 2,0-5,3 V dan ditemukan elektrolit tidak stabil ketika *charge* diatas 4,5 V. Penelitian lain oleh Hu, dkk., pada tahun 2013, menggunakan elektrolit LiPF_6 1,2 M yang dilarutkan dalam EC dan EMC (3:7), ditemukan elektrolit mudah terdekomposisi diatas 4,9 V.

2.2.2.2 Elektrolit Padat

Elektrolit padat yang digunakan dalam baterai ion lithium dapat dibagi menjadi dua, yaitu polimer dan keramik. Elektrolit polimer padat (SPE), dibentuk dengan melarutkan garam lithium, seperti LiClO_4 , LiBF_4 , atau $\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$, dalam host polimer. Keuntungan dari elektrolit polimer padat adalah kemudahan pemrosesan dan fleksibilitas mekanis (Zhang, dkk., 2018). Kelemahan dari elektrolit padat yaitu menunjukkan stabilitas elektrokimia yang buruk, konduktivitas ion lithium yang rendah, dan kekuatan mekanik yang rendah (Zhao dkk., 2016). Elektrolit keramik, memiliki stabilitas kimia dan elektrokimia yang tinggi serta kekuatan mekanik yang tinggi, tetapi tidak fleksibel (Zhang, dkk., 2018).

Banyak upaya telah dilakukan terhadap pengembangan elektrolit keramik, seperti titanat tipe perovskit (LLTO) dan elektrolit oksida jenis natrium (konduktor super ionik) NASICON (Zhang, dkk., 2018). Penelitian Zhang, dkk., pada tahun 2018, didapatkan konduktivitas komposit dari

$\text{Li}_{6.75}\text{La}_3\text{Zr}_{1.75}\text{Ta}_{0.25}\text{O}_{12}$ dengan NACISON (LLZTO-NASICON), sebesar $1,18 \times 10^{-5}$ S/cm, nilai ini lebih tinggi dari LLZTO dan energi aktivasinya berkisar diantara 0,23-0,58 eV.

2.2.3 Separator

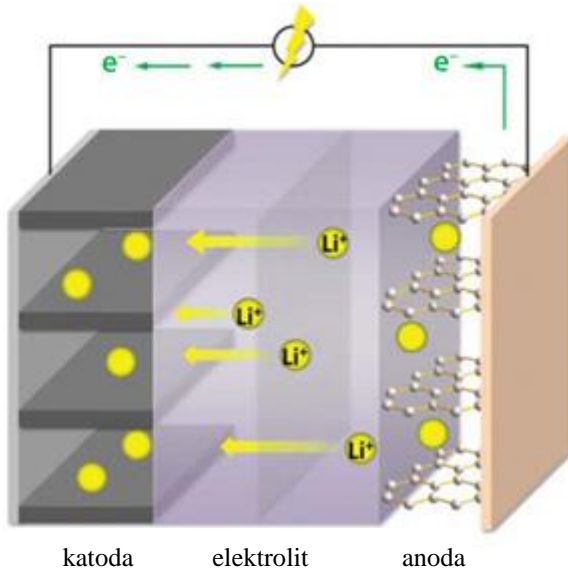
Komponen ini berfungsi sebagai *barrier* antara elektroda untuk menjamin tidak terjadinya hubungan pendek yang bisa menyebabkan kegagalan dalam baterai. Separator dapat berupa elektrolit yang berbentuk gel, atau plastik film *microporous* (mikro pori), atau material inert berpori yang diisi dengan elektrolit cair. Sifat listrik separator ini mampu dilewati oleh ion tetapi juga mampu memblokir elektron, jadi bersifat konduktif ionik sekaligus tidak konduktif elektron (Subhan, 2011).

Separator tergolong kelas membran yang secara fisik memisahkan anoda dan katoda dan memungkinkan ion-ion di dalam elektrolit mengalir di antara dua elektroda, sambil memblokir elektron untuk mencegah korsleting. Secara alami, separator bersifat; sangat berpori, isolator elektronik yang baik, dan konduktor ionik yang baik. Separator biasanya dibuat dari polimer seperti poliolefin dan PVDF, serta keramik atau campuran polimer-keramik. Separator juga bertindak sebagai alat pengaman di dalam LIB dengan menghentikan aliran ion ketika baterai terlalu panas (Dharmasena, 2017).

2.2.4 Prinsip Kerja Baterai Ion Lithium

Baterai lithium bekerja menurut fenomena interkalasi dalam kondisi *charge* dan *discharge*, dimana ion lithium melakukan migrasi dari katoda lewat elektrolit ke anoda (Sari, 2016). *Charge* merupakan suatu proses saat baterai dilakukan pengisian daya menggunakan listrik atau sumber energi

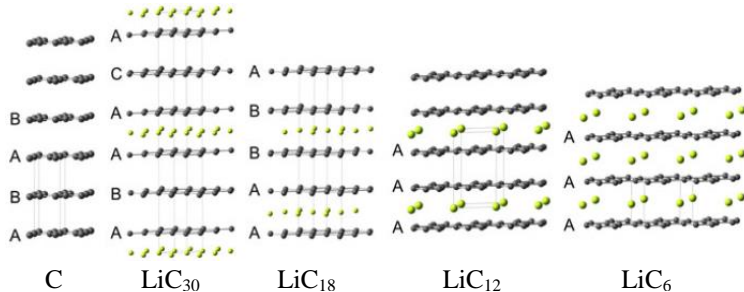
lainnya. *Discharge* merupakan proses pengosongan daya baterai, hal ini terjadi saat baterai pada suatu perangkat elektronik digunakan.



Gambar 2. 4 Skema prinsip kerja baterai ion lithium (Kam dan Doeff, 2012).

Material katoda akan terionisasi pada proses *charge* menghasilkan ion lithium bermuatan positif dan bermigrasi ke dalam elektrolit menuju komponen anoda, sementara elektron yang diberikan akan dilepaskan bergerak melalui rangkaian luar menuju anoda. Ion lithium ini akan masuk ke dalam anoda melalui mekanisme interkalasi. Aliran ion dan elektron akan terjadi saat *discharge* dengan arah kebalikan dari proses *charge* (Subhan, 2011). Proses interkalasi pada baterai ion lithium pada saat *charge* dan *discharge* dapat dilihat pada Gambar 2.4. Li pada bidang grafit berinterkalasi pada berbagai model kristal

(Li_xC_6). Li memiliki kontribusi yang berbeda-beda dalam bidang grafit seperti pada Gambar 2.5, namun dapat dibedakan dengan baik menggunakan XRD (Missyul, dkk., 2017).



Gambar 2. 5 Berbagai bentuk interkalasi Li pada grafit.

Besar kecilnya tegangan baterai ion lithium ditentukan oleh besar atau banyak sedikitnya sel baterai yang ada di dalamnya. Arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai (Manurung, 2015). Kemampuan kapasitas energi yang tersimpan dalam baterai lithium tergantung pada beberapa banyak ion lithium yang dapat disimpan dalam struktur bahan elektrodanya dan berapa banyak yang dapat digerakkan dalam proses *charge* dan *discharge* karena jumlah arus elektron yang tersimpan dan tersalurkan sebanding dengan jumlah ion lithium yang bergerak (Linden, 2002). Kapasitas baterai juga menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (*discharge*) selama waktu tertentu, dinyatakan dalam Ah (*Ampere – hour*) yang ditunjukkan pada persamaan 2.9. Hal ini menunjukkan sebuah baterai dapat memberikan arus yang kecil untuk waktu yang lama atau arus yang besar untuk waktu yang pendek. Penimbunan muatan listrik terjadi pada saat baterai diisi (*charge*). Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat

ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai (Manurung, 2015).

$$\text{Ah} = I \times t \quad (2.9)$$

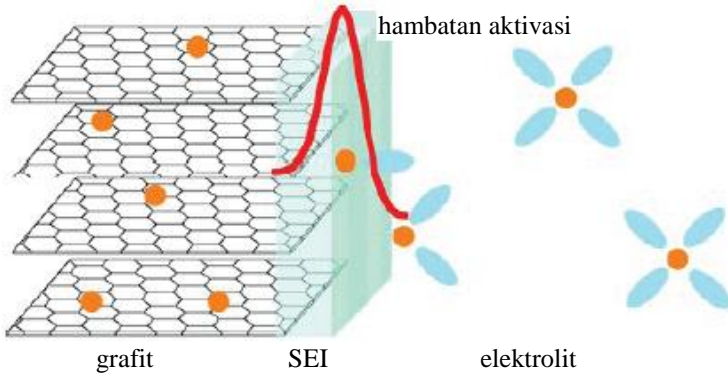
Dimana :

Ah	=	kapasitas baterai
I	=	kuat arus (ampere)
t	=	waktu (jam/sekon)

2.2.5 Solid Electrolyte Interphase (SEI)

Anoda grafit dapat digunakan secara baik pada rangkaian baterai ion lithium. Pada anoda grafit, *solid electrolyte interphase* (SEI) atau lapisan pasif antarmuka elektrolit padat, terbentuk pada permukaan partikel saat grafit diamplifikasi dalam sel elektrokimia selama siklus awal. Proses terbentuknya SEI ditunjukkan Gambar 2.6. SEI bersifat konduktif terhadap ion tetapi bersifat isolasi pada elektron, sekali SEI ini terbentuk, secara efektif mencegah reduksi *irreversible* lebih lanjut dari larutan elektrolit. Sejumlah elektrolit perlu dikonsumsi selama siklus awal pada sel LIB untuk membentuk SEI, yang menimbulkan inefisiensi muatan (Kam dan Doeff, 2012).

Pemurnian, optimalisasi morfologi partikel, dan penggunaan elektrolit aditif, telah mengurangi inefisiensi secara signifikan; sebagai hasilnya, baterai ion lithium menunjukkan kapasitas ireversibel awal hanya beberapa persen. Pengendapan logam terlarut yang berasal dari katoda atau suhu tinggi selama operasi dapat mengganggu SEI, sehingga SEI perlu pembentukan kembali, hal ini menyebabkan semakin berkurangnya lithium yang dapat didaur ulang (Kam dan Doeff, 2012).

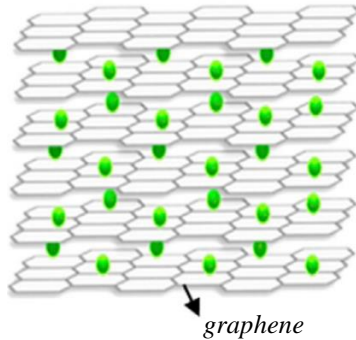


Gambar 2. 6 Ilustrasi skematis SEI pada grafit (Bresser, dkk., 2015).

2.3 Karbon sebagai Material Anoda Baterai Ion Lithium

Secara historis laporan pertama tentang senyawa interkalasi berbasis karbon diberikan oleh Schaffaütl, pada tahun 1841. Namun, investigasi secara sistematis baru dimulai pada pertengahan abad ke-20. Grafit yang diselingi dengan lithium dapat dianggap sebagai contoh pertama penyimpanan lithium dalam bahan berbasis karbon. Kemudian direalisasikan secara teknologi oleh SONY di mana lithium ditransfer dari satu senyawa interkalasi ke senyawa yang lain dengan nilai potensial Li yang sangat berbeda (Kashchikar dan Maier, 2009).

Aktivitas elektrokimia pada karbon terjadi karena adanya interkalasi ion lithium diantara bidang *graphene* (ditunjukkan pada Gambar 2.7), yang menyebabkan stabilitas mekanik dua dimensi yang baik, konduktivitas elektrokimia yang baik, dan adanya transport lithium.



Gambar 2. 7 Lithium diantara bidang grafit (Nitta, dkk., 2015)

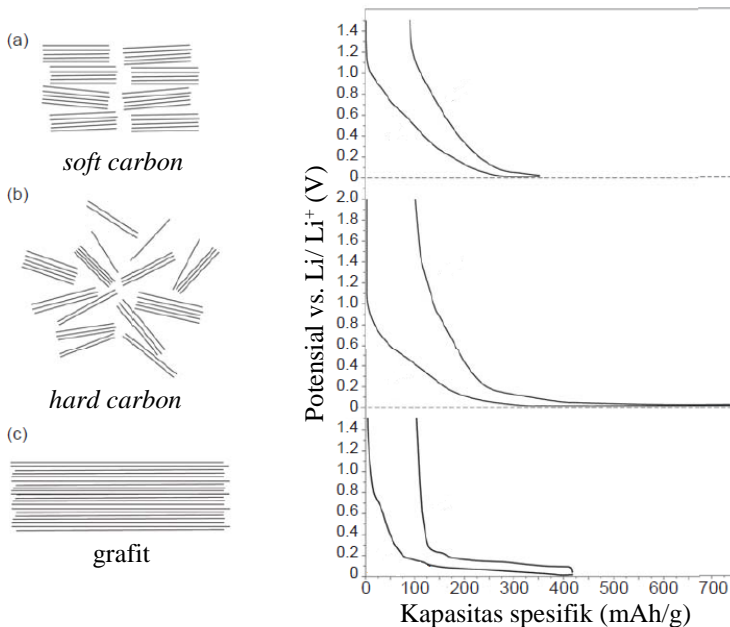
Anoda karbon pada baterai ion lithium masih merupakan sebuah pilihan sebagai material anoda. Karbon memiliki beberapa kelebihan yaitu biaya yang relatif rendah, kelimpahannya tinggi, kepadatan energi dan daya tinggi, dan siklus hidupnya lebih baik dibandingkan dengan bahan anoda tipe interkalasi lainnya. Kapasitas karbon lebih tinggi daripada sebagian besar bahan katoda tetapi kapasitas volumetrik elektroda grafit komersial masih kecil yaitu sekitar $330\text{-}430\text{ mAh cm}^{-3}$ (Nitta, dkk., 2015).

Anoda yang digunakan dalam baterai lithium umumnya adalah tersusun dari grafit. Keunggulan grafit yang memiliki kapasitas tinggi juga memiliki keterbatasan nyata, yaitu ketidakmampuan dalam kondisi *high rates discharge* dikarenakan *host* yang dimiliki grafit adalah interkalasi satu dimensi. Kondisi *high rate* akan menimbulkan efek litiasi yang akan menumbuhkan dendritik pada lapisan anoda sehingga rentan terhadap terjadinya hubungan pendek dalam baterai yang berakibat eksplosif dari segi faktor keamanan (Subhan, 2011).

Selama pengoperasian baterai ion lithium, lapisan antarmuka elektrolit padat atau *solid electrolyte interphase* (SEI) terbentuk pada permukaan grafit, sebagai akibat adanya reaksi samping dengan pelarut elektrolit dan garam. Lapisan SEI sangat penting untuk kinerja LIB karena memiliki dampak pada hilangnya kapasitas awal, karakteristik pengelupasan, siklus hidup, kemampuan laju, dan keamanan baterai. Pembentukan dan pertumbuhan lapisan SEI sulit untuk dikontrol karena komposisi kimia, morfologi, dan stabilitas tergantung pada beberapa faktor. Faktor-faktor ini termasuk jenis grafit, morfologi grafit, komposisi elektrolit, kondisi elektrokimia, dan suhu sel (An, dkk., 2016).

2.3.1 Jenis-Jenis Karbon

LIB komersial pertama diproduksi oleh Sony Corporation pada 1991, dimana menggunakan katoda LiCoO_2 dan *soft carbon* yang telah digrafitisasi pada 2300°C sebagai anoda. LIB ini menunjukkan densitas energi 200 Wh L^{-1} dan energi spesifik 80 Wh kg^{-1} , mengungguli semua teknologi baterai lainnya yang ada di pasaran saat itu. Baterai ini menunjukkan siklus yang reversibel dan sangat stabil, dengan potensial sel yang sangat tinggi sekitar 4 V, bahan ini menggunakan propilen karbonat (PC) sebagai pelarut elektrolit. Penggantian *soft carbon* dengan *hard carbon* (karbon non-grafit), menunjukkan peningkatan kapasitas spesifik, menyebabkan peningkatan kepadatan energi volumetrik dan gravimetrik yang dapat dicapai hingga 295 Wh L^{-1} dan 120 Wh kg^{-1} . *Hard carbon* sebagai bahan anoda juga dapat menaikkan potensial menjadi 4,2 V, dan menunjukkan siklus yang sangat baik dengan menggunakan elektrolit berbasis PC (Bresser, dkk., 2015).



Gambar 2. 8 Struktur *soft carbon*, *hard carbon*, dan grafit beserta kapasitas spesifiknya (Bresser, dkk., 2015).

Aplikasi LIB yang diinginkan dalam *handphone* memerlukan penggantian bahan anoda karena terjadi penurunan tegangan dalam profil potensial dari kedua bahan karbon. Gambar 2.8, menunjukkan setelah *charge* bahan menghasilkan tegangan sel yang bervariasi. *Handphone* memerlukan tegangan operasional minimal 3 V. Pemanfaatan kedua bahan anoda ini juga tidak aman. Untuk mencapai kapasitas spesifik maksimum, potensi *cut-off* katodik (yaitu potensi *end-of-charge* untuk anoda) harus diset mendekati 0 V vs Li/Li^+ , dimana dapat menimbulkan risiko pelapisan logam lithium pada permukaan partikel karbon. Oleh karena itu,

diperlukan bahan anoda baru. Grafit dapat mengatasi semua masalah ini dengan cukup memuaskan dan masih merupakan bahan anoda yang paling umum digunakan dalam LIB komersial saat ini. Grafit menunjukkan profil potensial yang lebih datar ketika secara reversibel menampung ion lithium pada potensial di bawah 0,5 V vs Li/Li⁺ (Gambar 2.8). Selain itu, grafit menunjukkan kapasitas spesifik hingga 372 mAh g⁻¹ (Bresser, dkk., 2015).

Menurut Nitta, dkk., (2015), karbon sebagai anoda komersial secara umum terbagi menjadi dua tipe, yaitu karbon grafit dan *hard carbon*. Karbon grafit memiliki butiran grafit yang besar dan dapat mencapai kapasitas muatan teoritis. Namun, karbon grafit tidak dapat tercampur dengan baik apabila menggunakan elektrolit berbasis propilena karbonat (PC), karena titik leleh yang rendah dan pengangkutan Li yang cepat. Propilena karbonat berinterkalasi bersama dengan Li⁺ di antara bidang grafit, menyebabkan grafit terkelupas dan kehilangan kapasitas.

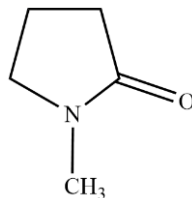
Hard carbon memiliki butiran grafit yang kecil dengan orientasi tidak teratur, dan jauh lebih rentan terhadap pengelupasan. Butir-butir ini juga memiliki rongga berukuran nano (*nanovoids*), sehingga mengurangi dan volume ekspansi isotropik. *Nanovoids* dan *defects* menyebabkan kelebihan kapasitas gravimetri, sehingga memungkinkan kapasitas lebih dari 372 mAh g⁻¹ (teoritis). *Hard carbon* sesuai dengan namanya, karbon ini bersifat keras dan memiliki siklus hidup yang tinggi. Namun, fraksi yang tinggi dari tepi bidang yang terbuka dapat meningkatkan jumlah absolut SEI yang dibentuk, mengurangi efisiensi coulombic dalam beberapa siklus pertama. Mengingat bahwa sel baterai ion lithium penuh memiliki persediaan lithium yang terbatas, hal ini merupakan

kerugian serius dalam hal kapasitas yang dapat dicapai. Selain itu, ruang kosong secara signifikan dapat mengurangi kepadatan partikel yang selanjutnya dapat mengurangi kapasitas volumetrik (Nitta, dkk., 2015).

2.4 Sifat Bahan yang digunakan

2.4.1 NMP

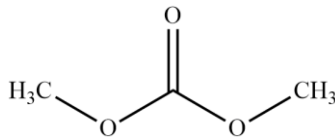
N-methylpyrrolidone (NMP) merupakan larutan tidak berwarna dan sedikit berbau amonia. NMP dapat menyebabkan iritasi pada mata dan kulit apabila terjadi kontak. NMP memiliki titik didih 202°C dan titik leleh -24°C. NMP bersifat higroskopis dan tidak stabil terhadap paparan cahaya. NMP disimpan dalam wadah yang kering dan tertutup rapat. Kondisi penyimpanan yang harus diperhatikan antara lain dijauhkan dari sumber panas, agen pengoksidasi dan pereduksi, asam, dan basa. Senyawa NMP dalam baterai ion lithium digunakan sebagai pelarut pengikat atau binder (PVDF) yang digunakan sebagai pengikat material aktif sehingga terbentuk bubuk (*slurry*) yang di coatingkan pada Cu foil atau Al foil. NMP tidak termasuk bahan yang beracun dan teratogenik (<http://www3.imperial.ac.uk/>).



Gambar 2. 9 Struktur *N-methylpyrrolidone*
(www.sigmaaldrich.com)

2.4.2 DMC

Dimethyl carbonate atau DMC merupakan pelarut organik tidak berwarna dengan rumus molekul $\text{OC}(\text{OCH}_3)_2$. DMC merupakan cairan volatil dan mudah terbakar dengan *flash point* 16°C . Bahan ini, berbau menyerupai alkohol dan bersifat volatil. DMC memiliki titik didih pada 90°C dan titik leleh pada -4°C . Pada pembuatan baterai ion lithium, DMC digunakan sebagai pelarut garam elektrolit. DMC memiliki berat molekul 90.08 g/mol dengan densitas relatif 1.069 g/cm^3 (pada 25°C), bersifat *non-toxic* dan *biodegradable*. Hal ini mendorong DMC sebagai bahan yang ramah lingkungan untuk dimetil sulfat, metil halida, dan fosgen untuk reaksi metilasi dan karboksilasi (<http://www3.imperial.ac.uk/>). Dalam penyimpanannya, DMC disimpan dalam wadah tertutup rapat, sejuk, dan kering. DMC harus ditempatkan jauh dari sumber panas, permukaan panas, dan api.



Gambar 2. 10 Struktur *Dimethyl carbonate*
(www.sigmaaldrich.com)

2.4.3 Carbon Black Super P

Carbon Black Super P merupakan bubuk berwarna hitam yang digunakan sebagai agen konduktif. Dengan densitas $160 \pm 20 \text{ kg/m}^3$. *Carbon Black Super P* merupakan bahan tambahan konduktif terbaik. *Carbon Black Super P* ditambahkan dengan binder pada elektroda komposit untuk mengimbangi konduktivitas elektrokimia yang lemah akibat adanya *miniemulsion polymerization*. Bahan ini disimpan pada

tempat sejuk, dalam wadah yang tertutup rapat dan kering dengan ventilasi yang baik serta ditempatkan jauh dari agen pengoksidasi kuat (<https://www.alfa.com/>).

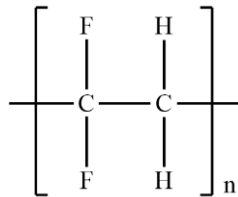


Gambar 2. 11 *Carbon Black Super P*

2.4.4 PVDF

PVDF atau *Polyvinylidene fluoride*, merupakan bubuk halus berwarna putih. Dalam pembuatan baterai ion lithium, PVDF digunakan sebagai bahan pengikat atau binder pada material aktif elektroda. PVDF banyak digunakan sebagai polimer dasar untuk pembentukan serat berlubang. *Polyvinylidene fluoride* (PVDF) adalah polimer semikristalin yang mengandung fase kristal dan fase amorf dan atau karet. Fase kristal memberikan stabilitas termal dan fleksibilitas fase amorf terhadap membran. PVDF stabil ketika diserang oleh sebagian besar bahan kimia korosif dan senyawa organik termasuk asam, basa, oksidan kuat dan halogen. Selain itu, hidrofobik dari polimer ini memberikan aplikasi potensial pada membran (Feng, dkk., 2013). PVDF adalah termoplastik fluoropolimer murni dan sangat reaktif. Polimer ini berwarna putih atau tembus cahaya dalam bentuk padatnya. Selain itu PVDF tidak larut dalam air. PVDF banyak digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kemurnian, kekuatan, dan

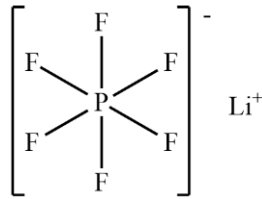
ketahanan terhadap bahan pelarut, asam, basa, dan panas yang sangat baik. PVDF memiliki titik leleh 169°C dan daya serap air sekitar 0,03% (Nasution, 2015).



Gambar 2. 12 Struktur *Polyvinylidene fluoride* (Feng, dkk., 2013).

2.4.5 LiPF₆

Lithium hexafluorophosphate merupakan garam elektrolit. LiPF₆ merupakan serbuk berwarna putih yang larut dalam air. Bahan ini memiliki titik leleh 200°C, dengan densitas 1,50 g/cc dan berat molekul 151,91 g/mol. LiPF₆ berifat korosif dan beracun, sehingga merupakan bahan yang berbahaya apabila tertelan, beracun apabila terjadi kontak dengan kulit, seta dapat menyebabkan luka bakar dan sakit pada mata. Senyawa LiPF₆ harus disimpan pada wadah yang tertutup rapat dan sangat dianjurkan menggunakan masker saat menggunakannya. Larutan ini tidak mudah terbakar, namun bila terjadi kontak dengan anggota tubuh butuh penanganan secara cepat dan tepat. Senyawa LiPF₆ disimpan dalam wadah yang kering dan tertutup rapat. Udara untuk penyimpanan merupakan gas inert. Ventilasi untuk penyimpanan merupakan ventilasi yang cukup untuk mempertahankan konsentrasi pada atau dibawah ambang batas. LiPF₆ mudah bereaksi dengan agen pengoksidasi, sehingga penyimpanan diletakkan jauh dari bahan yang bersifat oksidatif (<https://www.ltschem.com/>).



Gambar 2. 13 Struktur *Lithium hexafluorophosphate* (Zheng,dkk., 2016).

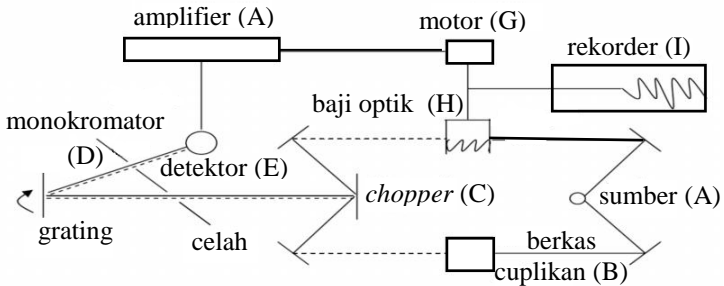
2.5 Karakterisasi dan Pengujian

2.5.1 *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

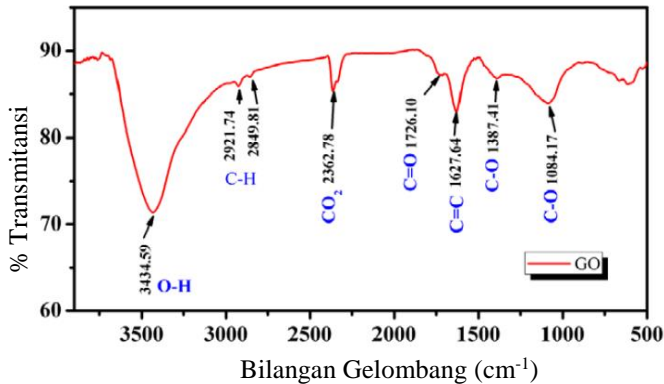
Fourier Transform Infrared (FTIR) adalah bentuk spektroskopi getaran yang bergantung pada absorbansi, transmitansi atau pemantulan cahaya inframerah. Cahaya diserap dalam jumlah yang berbeda dalam sampel pada frekuensi berbeda yang sesuai dengan frekuensi vibrasi ikatan-ikatan yang ada dalam sampel (Exline, 2013). Dengan spektroskopi IR, gugus fungsi yang khas sebagai penyusun sampel dapat diramalkan, berdasarkan nilai bilangan gelombang yang terbaca dalam alat.

Prinsip kerja FTIR digambarkan pada Gambar 2.14. Sinar dari sumber (A) dibagi menjadi dua berkas, yakni satu berkas (B) melalui cuplikan (berkas cuplikan) dan satu berkas lainnya (H) sebagai baku. Kedua berkas itu dipantulkan oleh *chopper* (C) yang berupa cermin berputar (~10 x per detik). Hal ini menyebabkan berkas cuplikan dan berkas baku dipantulkan secara bergantian ke kisi difraksi (D). Kisi difraksi berputar lambat, dan setiap frekuensi dikirim ke detektor (E) yang mengubah energi panas menjadi energi listrik. Jika pada suatu frekuensi cuplikan menyerap sinar, detektor akan menerima intensitas berkas baku yang besar dan berkas cuplikan yang lemah secara bergantian. Hal ini menimbulkan arus bolak-balik

dalam detektor lalu akan diperkuat oleh *amplifier*. Arus bolak-balok yang terjadi digunakan untuk menjalankan suatu motor (G) yang dihubungkan dengan suatu alat penghalang berkas sinar yang disebut baji optik (H). Gerakan baji dihubungkan pada pena alat rekorder (I), sehingga gerakan baji menggambarkan spektrum yang direkam pada rekorder (Sudjadi, 1983).



Gambar 2. 14 Skema kerja spektroskopi FTIR (Romiyati,2016)



Gambar 2. 15 Spektrum FTIR *graphene* oksida (Sudesh, dkk., 2013)

Penelitian Sudesh, dkk., pada tahun 2013, menunjukkan karakterisasi *graphene* oksida menggunakan FTIR. Hasil FTIR *graphene* oksida ditunjukkan pada Gambar 2.15. Hasil eksperimen menunjukkan kemiripan pada penelitian-penelitian sebelumnya, dimana muncul puncak-puncak seperti pada Tabel 2.5.

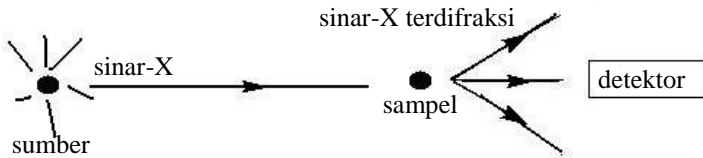
Tabel 2. 5 Hasil karakterisasi *graphene* oksida menggunakan FTIR

Bilangan Gelombang	Gugus Fungsi
1230–1320 cm^{-1}	oksigen dan vibrasi epoksida (C–O–C)
1500–1600 cm^{-1}	sp^2 (C=C)
1650–1750 cm^{-1}	karboksil (COOH)
3530 dan 1080 cm^{-1}	C–OH
1600–1650 cm^{-1}	keton (C=O)
3050–3800 cm^{-1} dan 1070 cm^{-1} .	fenol (C–OH)

2.5.2 X-Ray Powder Diffraction (XRD)

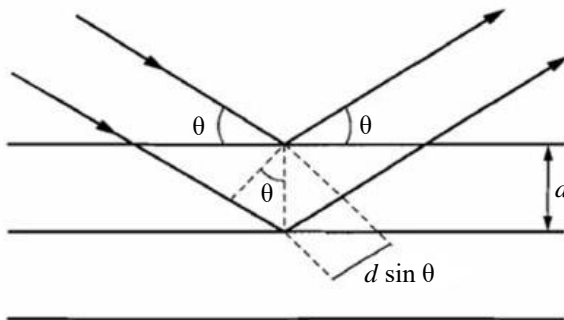
X-Ray Powder Diffraction (XRD) merupakan alat yang sering digunakan untuk mengkarakterisasi sifat kristal dari bahan padat, baik dari struktur maupun ukuran kristal. Prinsip kerja XRD didasarkan pada hamburan sinar-X oleh sampel. Struktur mikroskopis dari sampel yang diberikan dapat ditentukan dengan bantuan XRD (Jain, 2014). Sinar-X yang merupakan radiasi elektromagnet dengan panjang gelombang sekitar 100 pm dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron energi tinggi. Elektron itu mengalami perlambatan saat masuk ke dalam logam dan menghasilkan radiasi dengan jarak panjang gelombang kontinu. Puncak dihasilkan dari

interaksi antara elektron datang dengan elektron pada kulit dalam atom. Tumbukan itu mengeluarkan sebuah elektron, dan elektron dengan energi lebih tinggi masuk ke tempat kosong, dengan memancarkan kelebihan energinya sebagai foton sinar-X (Atkins, 1999).

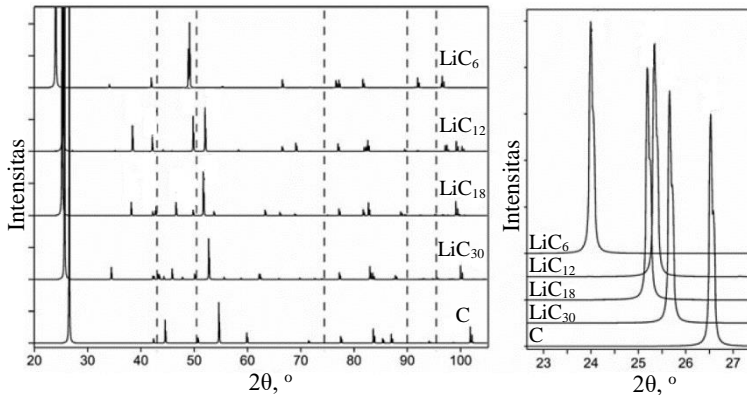


Gambar 2. 16 Skema instrumen XRD (Romiyati, 2016)

Berkas sinar-X berinteraksi dengan lapisan permukaan kristal. Sebagian sinar-X ditransmisikan, diserap, direfleksikan dan sebagian lagi dihamburkan serta didifraksikan. Pola difraksi yang dihasilkan analog dengan pola difraksi cahaya pada permukaan air yang menghasilkan sekelompok pembiasan. Skema alat XRD ditunjukkan pada Gambar 2.16 dan proses pembentukan puncak XRD ditunjukkan pada Gambar 2. 17.



Gambar 2. 17 Proses pembentukan puncak XRD (Romiyati, 2016)



Gambar 2. 18 Pola XRD teoritis untuk senyawa dalam sistem Li_xC_6 .

Dasar dari penggunaan XRD untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg yang ditunjukkan pada persamaan 2.10.

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (2.10)$$

Dimana :

- d = jarak antara dua bidang kisi (nm)
- θ = sudut antara sinar datang dengan bidang normal
- λ = panjang gelombang sinar-X yang digunakan (nm)
- n = orde bias (1, 2, 3, dan seterusnya)

Persamaan Bragg menunjukkan jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang yang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor, kemudian

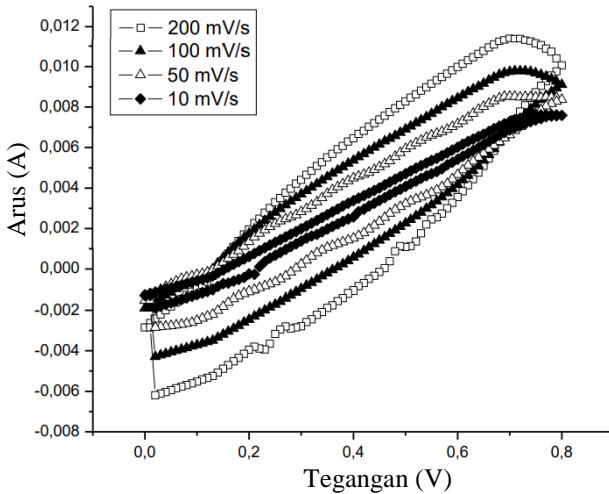
diterjemahkan sebagai puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang sama terdapat dalam sampel, semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkan. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu puncak bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi (Romiyati, 2016).

Kristal yang berukuran besar dengan difraksi yang mendekati sebuah garis vertikal memiliki kristalinitas tinggi. Kristalinitas yang sangat kecil menghasilkan puncak difraksi yang sangat lebar. Lebar puncak difraksi tersebut memberikan informasi tentang ukuran kristal (Abdullah dan Khairurrijal, 2009). Berbagai pola XRD grafit dalam sistem Li_xC_6 secara teoritis terdapat pada Gambar 2.18 (Missyul, dkk., 2017).

2.5.3 Uji Voltametri Siklik

Voltametri merupakan salah satu teknik elektroanalitik dengan prinsip dasar elektrolisis. Elektroanalisis merupakan suatu teknik yang berfokus pada hubungan antara besaran listrik dengan reaksi kimia, yaitu menentukan satuan-satuan listrik seperti arus, potensial atau tegangan, dan hubungannya dengan parameter-parameter kimia. Dalam teknik voltametri, potensial yang diberikan dapat diatur sesuai keperluan. Kelebihan dari teknik ini adalah sensitifitasnya yang tinggi, limit deteksi yang rendah dan memiliki daerah linier yang lebar. Selama proses pengukuran, konsentrasi analit praktis tidak berubah karena hanya sebagian kecil analit yang dielektrolisis (Mulyani, dkk., 2012). Voltametri siklik (CV) biasanya digunakan untuk mengkarakterisasi performa energi listrik dari alat penyimpan energi, seperti superkapasitor dan baterai. Bentuk kurva CV telah digunakan secara luas untuk

menyimpulkan proses elektrokimia yang terlibat dalam *charge* dan *discharge* (Jain, 2014).



Gambar 2. 19 Kurva CV dengan variasi *scan rate* pada sampel karbon aktif dari bambu

Pada penelitian Tumimomor, dkk., (2017), dilakukan variasi *scan rate* untuk masing-masing sampel (karbon aktif). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kapasitansi tertinggi. Berdasarkan hasil pengukuran untuk masing-masing sampel, diperoleh hasil seperti terlihat pada Gambar 2.19, Hasil pengukuran dengan metode voltametri siklik menunjukkan kurva yang hampir menyerupai empat persegi panjang. Hasil variasi laju *scan* pada masing-masing sampel menunjukkan bahwa semakin rendah nilai laju *scan* luas daerah yang ditunjukkan semakin kecil, dimana luas daerah yang terkecil yaitu pada laju *scan* 10 mV/s. Hal ini karena arus yang dihasilkan pada laju *scan* 10 mV/s lebih rendah dibandingkan dengan laju *scan* 50 mV/s, 100 mV/s, dan 200 mV/s.

Potensial elektroda kerja diubah selama pengukuran, dan arus yang dihasilkan dialurkan terhadap potensial yang diberikan pada elektroda kerja. Arus yang diukur pada analisis voltametri terjadi akibat adanya reaksi redoks pada permukaan elektroda. Kurva arus terhadap potensial yang dihasilkan disebut dengan voltamogram (Mulyani, dkk., 2012). Kurva arus atau voltamogram yang dihasilkan merupakan hubungan antara arus (sumbu Y) versus potensial (sumbu X). $E_{1/2}$ merupakan potensial rata-rata puncak reduksi dan oksidasi, yang persamaannya ditunjukkan pada persamaan 2.11 (Khalafi dan Rafiee, 2017).

$$E_{1/2} = \frac{E_{pa} - E_{pc}}{2} \quad (2.11)$$

Dimana :

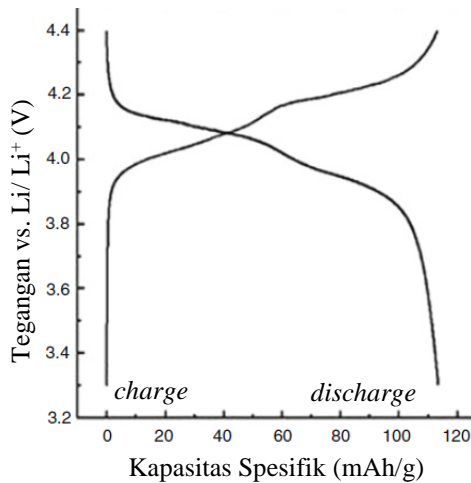
- $E_{1/2}$ = potensial rata-rata
- E_{pa} = potensial puncak oksidasi
- E_{pc} = potensial puncak reduksi

2.5.4 Uji *Charge-Discharge*

Pengukuran *charge-discharge* adalah metode yang diandalkan untuk mengevaluasi kapasitansi elektrokimia suatu bahan dengan kondisi arus yang dikendalikan. Teknik ini sangat berbeda dari voltametri siklik (CV) karena arus dikontrol dan potensial diukur (Jain, 2014). Beberapa hal yang dapat ditentukan melalui metode ini adalah kapasistansi, resistansi, dan kestabilan siklik.

Pyun, dkk., pada tahun 2012, melakukan pengukuran *charge-discharge* LiMn_2O_4 yang ditunjukkan Gambar 2. 20. Laju yang digunakan yaitu 0,2 C (dalam bidang baterai, nC rate berarti laju pengosongan/ pengisian daya di mana baterai hampir habis/ terisi penuh selama 1/ n jam). Total listrik per

massa yang tersedia dari sel yang terisi penuh dapat dihitung pada tingkat C spesifik dari muatan yang ditransfer selama proses *discharge* dalam hal C/g atau mAh/g. Kapasitas spesifik sering diukur pada laju *discharge* yang berbeda untuk mengevaluasi kemampuan laju sel (Pyun, dkk., 2012).



Gambar 2. 20 Kurva pengukuran *charge/discharge* LiMn_2O_4 .

2.6 Penelitian Sebelumnya

Moradi dan Botte, pada tahun 2016, menjelaskan berdasarkan kualitas produk akhir daur ulang, proses daur ulang untuk LIB dapat dikategorikan ke dalam tiga kelas, yaitu pirometalurgi atau proses perlakuan panas bersuhu tinggi, hidrometalurgi atau proses kimia, dan proses fisik. Daur ulang secara pirometalurgi melibatkan perlakuan termal dengan peleburan komponen baterai pada suhu tinggi (sekitar 1400°C) dan hanya logam seperti nikel, kobalt, lithium, dan seng yang diperoleh kembali. LIB pada daur ulang ini tidak dipisahkan terlebih dahulu sebelum dilebur, sehingga grafit dan bahan

elektroda negatif lainnya tidak dapat diperoleh kembali karena dimasukkan ke dalam tungku peleburan bersama dengan bahan elektroda positif. Proses ini menganggap baterai sebagai sumber bahan baku dan hanya dapat memurnikan logam.

Daur ulang secara hidrometalurgi terdiri dari pelindian asam atau basa untuk melarutkan bahan baterai diikuti dengan proses pemurnian seperti filtrasi, presipitasi, ekstraksi pelarut, dan proses elektrokimia. Metode ini mampu memulihkan hampir semua bahan aktif. Bahan elektroda negatif, termasuk grafit, berpotensi didaur ulang jika elektroda negatif dipisahkan dari elektroda positif dengan pemisahan mekanis sebelum proses pelindian. Grafit sebagai material pada anoda belum sepenuhnya difokuskan untuk didaur ulang, karena secara umum proses pemisahan mekanis hanya memisahkan plastik, kertas, besi, dan lembaran tembaga, sedangkan grafit masuk ke dalam tahap pencucian dan dibakar dengan kalsinasi.

Daur ulang secara fisik sangat memungkinkan bahan baterai untuk digunakan kembali dalam produksi LIB baru dengan sedikit atau tanpa modifikasi tambahan. Proses ini melibatkan banyak proses fisik dan kimia dengan suhu untuk memisahkan komponen baterai. Proses ini dapat memulihkan semua bahan aktif dan logam, kecuali pemisah. Pemurnian secara lebih lanjut mungkin diperlukan untuk mendapatkan komponen yang lebih murni sebelum digunakan kembali. Proses daur ulang secara fisik belum dikomersialkan. Zhang, dkk., pada tahun 2013, membandingkan penghancuran secara basah dengan kering untuk meminimalkan kehilangan bahan baterai yang berharga termasuk grafit selama proses daur ulang LIB. Penghancuran basah melibatkan penggunaan *blade crusher* dengan aliran air, menghasilkan peleburan bubuk grafit halus dalam air dan hilangnya bahan elektroda negatif aktif.

Aliran air menyebabkan anoda yang dihancurkan dapat dengan cepat melewati *mesh crusher*. Oleh karena itu, bubuk halus tidak dapat dibebaskan dari Cu *foil*, mereka semua melewati *mesh* bersama dengan air, yang mengakibatkan grafit tidak tinggal di *mesh* dan terbuang sia-sia. Penghancuran kering berhasil memisahkan elektroda grafit secara selektif dari Cu *foil*. Bahan elektroda seperti LiCoO₂ dan grafit dipisahkan dari Al *foil* dan Cu *foil* kemudian dihaluskan, sehingga diperoleh bahan elektroda dengan lebih sedikit pengotor dan dalam struktur renggang, yang menciptakan kondisi yang menguntungkan untuk proses daur ulang selanjutnya. Hal ini menunjukkan potensi pemisahan kering sebagai salah satu langkah dalam proses daur ulang anoda.

Xiang, dkk., pada tahun 2012, mempelajari daur ulang grafit dari LIB dan menggunakannya kembali sebagai baterai ion lithium baru. Baterai yang digunakan adalah tipe NCR 18650. Baterai melewati beberapa tahap daur ulang (1-5) sebelum digunakan kembali untuk LIB baru.

- 1) LIB dibongkar dan diambil lembaran elektroda grafitnya, kemudian dicuci dengan pelarut organik (DMC) untuk menghilangkan sisa elektrolit yang terkumpul dari permukaan elektroda.
- 2) Lembaran elektroda dikeringkan untuk menguapkan pelarut. Suhu pengeringan lebih disukai 85-100°C.
- 3) Elektroda grafit kering (dari langkah sebelumnya) direndam ke dalam larutan asam HCl di bawah getaran ultrasonik untuk memisahkan film grafit dari foil tembaga dan membran.
- 4) Grafit berbentuk bubuk dipisahkan dari larutan asam dengan cara sentrifugasi, pembilasan, dan pengeringan.

- 5) Elektroda negatif dipersiapkan dengan menggunakan grafit hasil daur ulang, untuk digunakan ke dalam baterai baru.

Penelitian tersebut menunjukkan nilai kapasitas dari anoda grafit yang dicuci menggunakan DMC menunjukkan nilai kapasitas yang lebih besar, dibandingkan grafit tanpa pencucian. Moradi dan Botte, pada tahun 2016, menyarankan pemurnian grafit daur ulang menggunakan pelarut pencuci untuk melarutkan dan menghilangkan pengikat elektroda polimer dari bahan aktif elektroda. Pelarut pencuci yang sesuai antara lain *N-methyl pyrrolidone*, tetrahydrofuran, etanol, dimetil karbonat, dietil karbonat, dimetil aseton, dietil formamida, metil isobutil keton, dan campurannya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain gelas beaker, *stirrer*, neraca analitik, sendok besi, pipet tetes, pipet ukur, bola hisap, botol semprot, *magnetic stirrer*, alu dan mortar agat, furnace, pinset, *doctor blade*, *glove box*, alat *ctimping*, instrumen XRD (*X-Ray Powder Diffraction*) PANalytical Xpert MPD, instrumen FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectrometer*) Shimadzu 8400S, serta pengukuran Voltametri Siklik dan pengukuran *Charge-Discharge* menggunakan *Automatic Battery Cycler* WonAtech WBCS3000 Korea.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain baterai lithium bekas dan baterai lithium baru dari perangkat laptop tipe NCR 18650, serbuk KBr dari Merck, kertas timbang, Cu foil dari *TOB Machine*, Li metal dari *Workshop* Fisika LIPI, NMP (*N-methyl pyrrolidone*) 99,5% dari Sigma Aldrich, DMC (*Dimethyl carbonate*) 99% dari Merck, PVDF (*Polyvinylidene fluoride*) Kynar Flex 28001-00, LiPF_6 (*Lithium hexafluorophosphate*) komersil, Grafit dari *Workshop* Fisika LIPI, *Carbon black - Super P* dari Gellon, separator dari *TOB Machine*, rangkaian koin sel tipe CR 2032 dari *TOB Machine*, dan aseton teknis.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Preparasi Sampel

Pada penelitian ini digunakan sampel berupa material anoda yang didapatkan dari baterai ion lithium bekas NCR 18650 dari perangkat laptop yang memiliki ketidakstabilan daya. Material anoda kemudian dipisahkan secara mekanis. Baterai dibongkar terlebih dahulu untuk mendapatkan bagian dalam dan memisahkannya dari lapisan plastik luar baterai. Secara hati-hati, lembaran tembaga pada baterai lithium dikelupas agar bagian dalam dapat dikeluarkan.

Material anoda yang menempel pada lembaran tembaga dikeruk secara perlahan menggunakan sendok besi agar terpisah dari lembaran tembaga. Langkah yang sama, juga digunakan untuk mendapatkan material anoda pada LIB baru dengan tipe yang sama sebagai perbandingan.

Material anoda baru dicuci menggunakan DMC untuk menghilangkan pengaruh elektrolit kemudian dikeringkan pada 90°C (Xiang, dkk., 2012). Material anoda bekas dicuci sebanyak dua kali dengan 30 mL DMC dan NMP dengan tujuan melarutkan elektrolit serta *binder* yang masih tersisa pada material anoda (Moradi dan Botte, 2016). Pelarut diuapkan dengan cara membakar kedua sampel dengan *furnace* menggunakan aliran gas inert N₂ pada suhu 600°C selama 4 jam. Pembakaran dengan *furnace* bertujuan untuk menghilangkan polimer dengan mengubahnya menjadi karbon, sehingga didapatkan material aktif anoda yang lebih murni (Moradi dan Botte, 2016).

3.2.2 Variasi Sampel

Pada penelitian ini digunakan variasi penambahan grafit pada material aktif untuk mengetahui pengaruh penambahan

grafit terhadap bahan anoda yang dihasilkan. Sampel anoda yang diuji pada penelitian ini adalah sampel material anoda hasil perlakuan tanpa penambahan grafit, material anoda hasil perlakuan dengan penambahan grafit sebanyak 5%, dan material anoda dari baterai lithium baru hasil perlakuan. Perlakuan yang dilakukan pada material anoda baterai ion lithium bekas adalah pemisahan secara mekanis, pencucian dengan DMC untuk menghilangkan pengaruh elektrolit (Xiang, dkk., 2012) dan dengan NMP untuk menghilangkan pengaruh *binder* (Moradi dan Botte, 2016), yang kemudian dibakar pada 600°C menggunakan gas inert. Penambahan grafit 5% dipilih karena komposisi 5% secara umum dipakai sebagai bahan adiktif atau bahan tambahan (Ni'mah, 2016; Hao, dkk., 2005; Uthaisar dkk., 2013). Pengamatan dilakukan berdasarkan kemampuan elektrokimianya. Beberapa sampel yang dilakukan pada penelitian ini tersaji pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Variasi material aktif sampel anoda

Nama Sampel	Jenis Sampel	Grafit yang ditambahkan
A01	Anoda LIB Bekas setelah dilakukan perlakuan	0%
A51	Anoda LIB Bekas setelah dilakukan perlakuan	5%
BFP	Anoda LIB Baru setelah dilakukan perlakuan	0%

Sampel anoda hasil pembakaran berupa serbuk berwarna abu-abu digerus terlebih dahulu menggunakan alu dan mortar agat, dan diayak dengan ayakan 400 mesh. Penambahan 5% grafit dilakukan dengan mencampurkan 3 gram sampel anoda dari LIB bekas hasil furnace dengan 0,15 gram grafit.

3.2.3 Pembuatan *Slurry* dan *Coating*

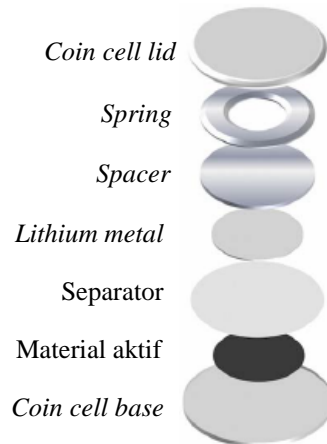
Slurry dibuat dengan melarutkan 0,1176 gram bahan pengikat PVDF (*Polyvinylidene fluoride*) dengan 1 mL pelarut NMP (*N-methyl pyrrolidone*) yang terlebih dahulu dipanaskan pada 70°C selama 15 menit. Setelah PVDF dicampurkan, diaduk selama 15 menit hingga seluruh PVDF larut. Bahan adiktif *carbon black* ditambahkan sebanyak 0,0588 gram. Sebanyak 1 gram sampel anoda (A01P, A51P, dan BFP) kemudian dicampurkan kedalam larutan dan diaduk selama 30 menit. Penambahan pelarut diperlukan apabila didapatkan *slurry* yang terlalu kental. Pada penelitian ini digunakan perbandingan material aktif : bahan pengikat : bahan adiktif dengan perbandingan 85 : 10 : 5 (Uthaisar, dkk., 2013).

Hasil campuran yang didapatkan berupa *slurry* berwarna hitam yang kemudian dilapiskan (*dicoating*) diatas lembaran tembaga (*Cu-foil*) menggunakan *doctor blade* dengan ketebalan 200 μm . *Cu-foil* yang telah terlapisi anoda kemudian dikeringkan dengan *vacuum oven* pada suhu 80°C dan disimpan dalam oven pada suhu 50°C (Uthaisar, dkk., 2013).

3.2.4 *Assembly Koin Sel*

Cu foil yang telah terlapisi anoda dipotong bentuk lingkaran, dengan diameter 16 mm. Digunakan separator komersil (19 mm) dan katoda komersil (*Li metal*) yang berbentuk bulat dengan diameter 16 mm untuk uji setengah sel dan katoda dari LIB baru dengan diameter 16 mm untuk uji satu sel sebagai bahan rangkaian koin sel. Sebanyak 3 tetes LiPF_6 (*Lithium hexafluorophosphate*) digunakan sebagai elektrolit pada koin sel. Perangkaian koin sel seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1 menggunakan tipe koin sel CR 2032, dilakukan di dalam *glove box* dengan aliran gas Ar. Koin sel yang telah

dirangkai dibersihkan menggunakan aseton kemudian didiamkan hingga tegangannya stabil. Koin sel kemudian diuji voltametri siklik dan *charge-discharge* dengan setengah sel (menggunakan katoda komersil, Li metal) (Hikmah, dkk., 2019).



Gambar 3. 1 Susunan koin sel untuk elektroda setengah sel (Birkl, dkk., 2015).

3.3 Karakterisasi Material

3.3.1 Karakterisasi *X-Ray Powder Diffraction* (XRD)

Material anoda pada LIB baru dan bekas berbentuk serbuk kristal berwarna hitam. Kedua bahan anoda ini kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Powder Diffraction*) untuk melihat struktur kristalnya. Kedua sampel diukur dengan sumber radiasi Cu K α ($\lambda = 1,5406\text{\AA}$) radiasi, pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA, *scan step time* yang digunakan adalah 10,15 detik dan diukur pada sudut $5^\circ \leq 2\theta \leq 100^\circ$. Data yang diperoleh berupa kurva intensitas puncak difraksi sampel dan sudut 2θ (Pratiwi, 2019).

3.3.2 Karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectrometer* (FTIR)

Bahan anoda baterai lithium bekas dan baru dikarakterisasi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectrometer*) untuk mengetahui apakah ada perbedaan gugus fungsi pada material anoda LIB baru dan bekas. Setelah dilakukan perlakuan, material anoda LIB bekas dilakukan karakterisasi FTIR untuk melihat pengaruh perlakuan yang dilakukan. Pada pengujian dengan instrumen FTIR, digunakan pelet KBr dan rentang panjang gelombang $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$. Sampel digerus dengan penambahan KBr menggunakan perbandingan 1 : 99 menggunakan mortar agat hingga tercampur merata. Campuran yang telah digerus diletakkan pada cetakan pelet dan dipress menggunakan hidrolis sehingga terbentuk pelet. Pelet tersebut selanjutnya diletakkan dalam *sample holder* untuk selanjutnya ditempatkan pada jalannya berkas sinar dan dilakukan analisis (Pratiwi, 2019).

3.4 Evaluasi Performa Baterai

3.4.1 Voltametri Siklik

Koin sel yang siap uji, diukur menggunakan *cyclic voltammetry Automatic Battery Cycler* WonAtech WBCS3000 Korea dengan *scan rate* 0,1 mV/s dengan tegangan 0-2 V (uji setengah sel). Uji menggunakan voltametri siklik bertujuan untuk mengetahui puncak reduksi-oksidasi dari sampel anoda baterai lithium bekas yang telah dirangkai menjadi koin sel baterai ion lithium baru (Pratiwi, 2019).

3.4.2 Charge-Discharge

Kemampuan kapasitif anoda LIB bekas hasil perlakuan yang telah dirangkai menjadi koin sel baterai ion lithium baru,

diukur menggunakan *charge-dicharge Automatic Battery Cycler* WonAtech WBCS3000 Korea dengan *scan rate* 0,1 C digunakan tegangan 0-2 V (uji setengah sel) (Pratiwi, 2019). Karakteristik kinerja baterai dilihat dari kapasitas dan efisiensi baterai dengan melihat pengaruhnya terhadap arus pembebanan dan luas elektroda. Efisiensi baterai ditunjukkan oleh perbandingan kapasitas pengisian dengan kapasitas pengosongan baterai (Satriady, 2014).

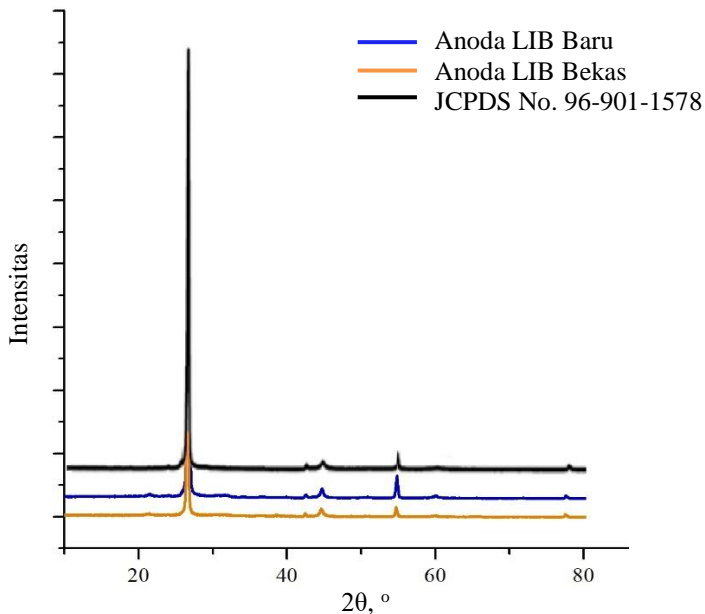
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Material Anoda pada LIB

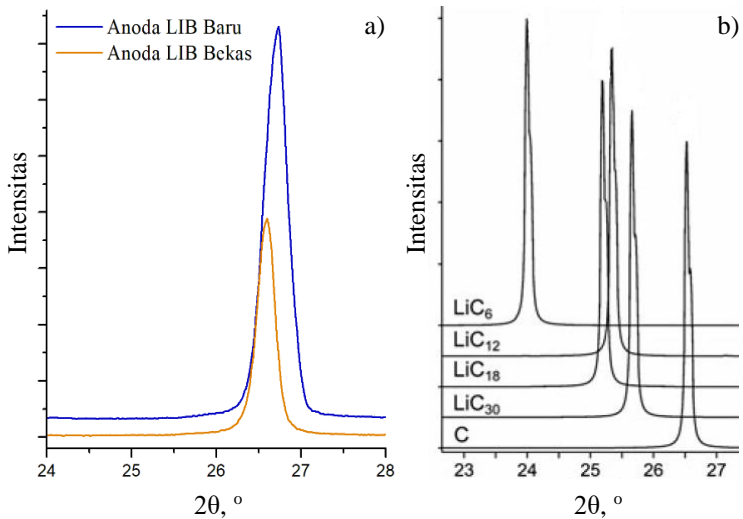
4.1.1 Hasil Karakterisasi XRD

Material anoda pada baterai ion lithium (LIB) bekas dipisahkan secara mekanis dan dikarakterisasi menggunakan alat XRD (*X-Ray Powder Diffraction*). Material anoda dari baterai ion lithium baru juga dikarakterisasi sebagai pembanding. Kedua sampel diukur dengan sumber radiasi $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1,5406\text{\AA}$) radiasi, pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA. *Scan step time* yang digunakan adalah 10,15 detik dan diukur pada sudut $5^\circ \leq 2\theta \leq 100^\circ$.



Gambar 4. 1 Hasil karakterisasi XRD material anoda LIB baru dan LIB bekas.

Hasil karakterisasi XRD material anoda pada LIB bekas dan LIB baru ditunjukkan pada Gambar 4.1. Berdasarkan hasil yang diperoleh, tidak didapatkan perbedaan puncak yang signifikan pada material anoda LIB bekas maupun LIB baru. Puncak-puncak yang muncul pada kedua sampel memiliki sudut 2θ yang hampir sama. Kedua material anoda menunjukkan perbedaan pada kristalinitasnya. Pada LIB bekas, material anoda memiliki kristalinitas yang lebih kecil daripada LIB baru. Hal ini ditunjukkan dengan puncak pada LIB bekas yang memiliki intensitas lebih kecil daripada LIB baru.



Gambar 4. 2 (a) Hasil karakterisasi material anoda LIB baru dan LIB bekas, (b) Puncak spesifik XRD beberapa bentuk interkalasi ion Li^+ pada grafit.

Material anoda pada LIB bekas memiliki struktur kristal yang cocok dengan JCPDS No. 96-901-1578 berdasarkan pengolahan menggunakan *software Match!*, yang

mengkonfirmasi struktur grafit. Hasil ini sama seperti material anoda LIB baru yang juga memiliki struktur grafit. Sehingga, kedua material anoda ini memiliki struktur yang sama, yaitu grafit.

Material anoda hasil pemisahan secara mekanis pada LIB bekas dan LIB baru, merupakan grafit murni. Missyul, dkk., pada tahun 2017, menjelaskan berbagai bentuk interkalasi Li pada grafit (Li_xC_6) dapat diketahui dengan puncak khas pada spektrum XRD yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. (b). Grafit (C) yang murni (tidak menyimpan ion Li^+), memiliki puncak tinggi pada $26^\circ < 2\theta < 27^\circ$. Hal ini sesuai dengan hasil karakterisasi XRD kedua material anoda yang terdapat pada Gambar 4.2. (a). Material anoda LIB bekas menunjukkan puncak tinggi pada $2\theta = 26,6^\circ$ dan LIB baru pada $2\theta = 26,7^\circ$. Penggunaan baterai ion lithium tidak merusak struktur material anodanya meskipun baterai telah rusak dan tidak dapat digunakan, dengan tidak rusaknya struktur grafit pada anoda LIB bekas, maka grafit pada material anoda ini berpotensi untuk dapat dimanfaatkan kembali untuk menjadi bahan anoda pada LIB baru.

4.1.2 Hasil Karakterisasi FTIR

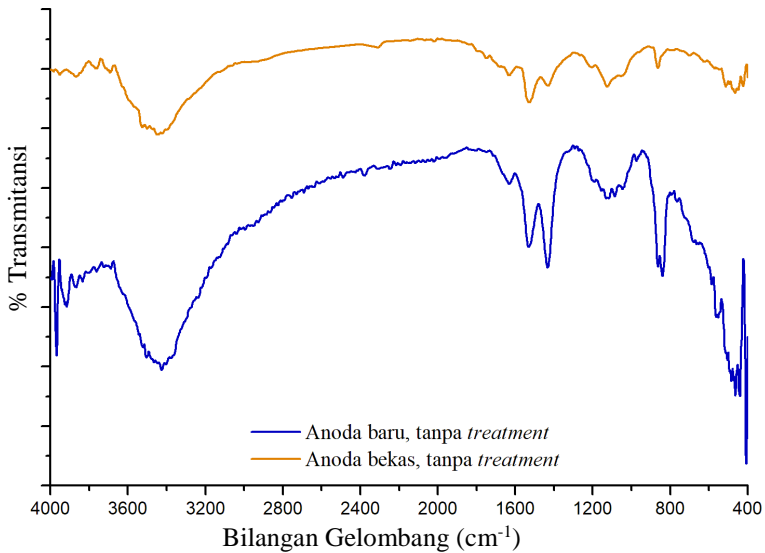
Material anoda dari baterai ion lithium bekas yang telah dipisahkan secara mekanis dari lembaran Cu foil, dikarakterisasi dengan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectrometer*) untuk melihat gugus fungsinya. Material anoda baterai ion lithium baru juga dikarakterisasi sebagai pembanding. Hasil FTIR material anoda LIB baru dan LIB bekas ditunjukkan pada Gambar 4.3. Spektrum FTIR material anoda pada kedua bahan tidak menunjukkan perbedaan yang

signifikan. Kedua material secara umum memiliki gugus fungsi yang sama, seperti yang tersaji pada Tabel 4.1.

Spektrum FTIR pada Gambar 4.3, menunjukkan material anoda pada LIB baru maupun bekas memiliki pola puncak yang hampir sama, hal ini mengindikasikan gugus fungsi yang ada pada bahan anoda LIB bekas secara umum sama dengan gugus fungsi yang ada pada LIB baru. Beberapa pengotor seperti *binder* (bahan pengikat) yang telah rusak dan elektrolit yang masih tertinggal pada material anoda perlu dihilangkan untuk mendapatkan material aktif yang lebih murni. Sisa *binder* pada material anoda LIB bekas akan menyelubungi atau menutupi permukaan grafit sebagai material anoda, sehingga dapat menghambat proses interkalasi maupun deinterkalasi Li. Hambatan ini juga dapat menurunkan performa baterai.

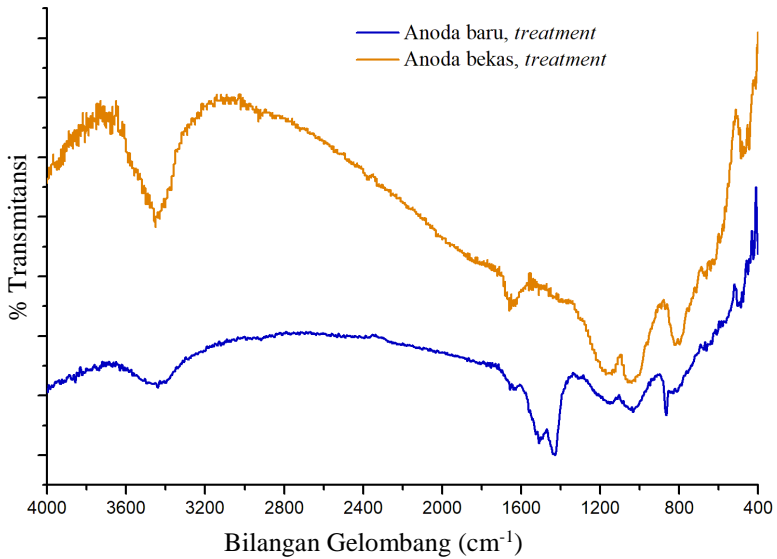
Tabel 4. 1 Hasil karakterisasi FTIR material anoda baterai ion lithium sebelum dilakukan perlakuan.

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		
	LIB Baru	LIB Bekas	Referensi
C-OH	3425,69	3443,05	Pavia, dkk., (2001)
Keton (C=O)	1631,83	1629,90	Pavia, dkk., (2001)
C-F	1531,83 dan 1433,16	1529,60 dan 1429,30	Pavia, dkk., (2001)
Amina (C-N)	1116,82	1126,47	Pavia, dkk., (2001)



Gambar 4. 3 Hasil karakterisasi FTIR bahan anoda LIB baru dan LIB bekas

Material anoda baterai ion lithium bekas dicuci dengan DMC (*Dimethyl carbonate*) untuk menghilangkan elektrolit yang tertinggal dan NMP (*N-methyl pyrrolidone*) untuk melarutkan *binder* yang telah rusak. Material kemudian dibakar menggunakan *furnace* pada 600°C selama 4 jam dengan aliran gas inert untuk menguapkan sisa pelarut dan mengubah material pengotor yang masih tersisa menjadi karbon. Hasil dari pembakaran dikarakterisasi dengan FTIR untuk mengetahui pengaruh pencucian dan pembakaran pada material anoda baterai ion lithium. Gambar 4.4 menunjukkan spektrum FTIR dari material anoda hasil perlakuan dan Tabel 4.2 menunjukkan gugus fungsi yang merupakan hasil karakterisasi menggunakan FTIR.



Gambar 4. 4 Hasil karakterisasi FTIR bahan anoda LIB baru dan LIB bekas dengan pembakaran

Tabel 4. 2 Hasil karakterisasi FTIR material anoda baterai ion lithium setelah dilakukan perlakuan.

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		
	LIB Baru	LIB Bekas	Referensi
C-OH	3440,05	3451,62	Pavia, dkk., (2001)
Keton C=O	1627,21	1656,14	Pavia, dkk., (2001)
Amina (C-N)	1151,34 dan 1032,74	1168,22 dan 1041,90	Pavia, dkk., (2001)
C-F	1428,57 dan 1509,09	-	Pavia, dkk., (2001)

Material anoda dari LIB bekas hasil perlakuan tidak menunjukkan gugus fungsi disekitar bilangan gelombang 1500-1400 cm^{-1} yang merupakan C-F yang berasal dari PVDF sebagai *binder*. Material anoda dari LIB baru hasil perlakuan menunjukkan adanya gugus ini, karena dalam melakukan perlakuan material anoda dari LIB baru hanya dicuci menggunakan DMC kemudian dibakar. NMP tidak digunakan untuk melarutkan *binder* pada material anoda dari LIB baru, sehingga binder masih tertinggal pada material anoda dari LIB baru. Hasil dari dilakukan perlakuan pada kedua material, masih terdapat gugus fungsi C=O dan C-N yang berasal dari pelarut dan belum sepenuhnya hilang. Intensitas puncak yang muncul pada spektrum FTIR hasil perlakuan lebih kecil dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Hal ini menunjukkan pencucian dan pembakaran berhasil mengurangi kehadiran *binder* dan pengotor lainnya, sehingga menghasilkan material anoda yang lebih murni.

4.2 Hasil Assembly Sel Baterai Ion Litium

Material anoda dari baterai ion lithium bekas dicuci menggunakan DMC dan NMP yang kemudian dibakar pada 600°C menggunakan *furnace* dengan gas N_2 . Pembuatan baterai ion lithium dibagi menjadi beberapa tahap, antara lain pembuatan *slurry*, *coating*, dan kemudian perangkaian koin sel baterai seperti yang telah disebutkan pada BAB III. Pembuatan *slurry* dilakukan dengan cara melarutkan PVDF sebagai *binder* dengan pelarut NMP. *Carbon black* dan material aktif selanjutnya dicampurkan kedalam *binder* dan diaduk hingga menjadi *slurry* yang kental.

Slurry dengan kekentalan yang sesuai, kemudian dilakukan *coating*. *Cu foil* dan *doctor blade* dibersihkan

terlebih dahulu menggunakan aseton. *Slurry* dituangkan di atas lembaran Cu *foil* dan diratakan menggunakan *doctor blade* dengan ketebalan 200 μm . Lembaran anoda yang didapatkan kemudian dikeringkan pada suhu 80°C dan kemudian disimpan dalam oven dengan suhu 50°C. Lembaran anoda kemudian dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter 16 mm untuk selanjutnya digunakan sebagai anoda pada baterai ion lithium.

Anoda grafit yang berbentuk bulat, kemudian dirangkai menjadi koin sel (setengah sel) menggunakan katoda Li metal, separator, dan elektrolit LiPF_6 . Koin sel dirangkai di dalam *glove box* yang selanjutnya ditekan menggunakan alat *press* atau *crimping*. Koin sel dibersihkan dengan aseton dan dibiarkan hingga tegangannya stabil (± 2 jam). Koin sel yang telah memiliki tegangan stabil, kemudian diuji performanya menggunakan voltametri siklik dan *charge discharge*. Performa baterai ion lithium ini selanjutnya dibandingkan dengan baterai ion lithium yang menggunakan anoda bekas tanpa menggunakan perlakuan. Beberapa jenis sampel anoda yang dievaluasi, terdapat pada Tabel 3.1.

4.3 Evaluasi Performa Baterai Ion Lithium

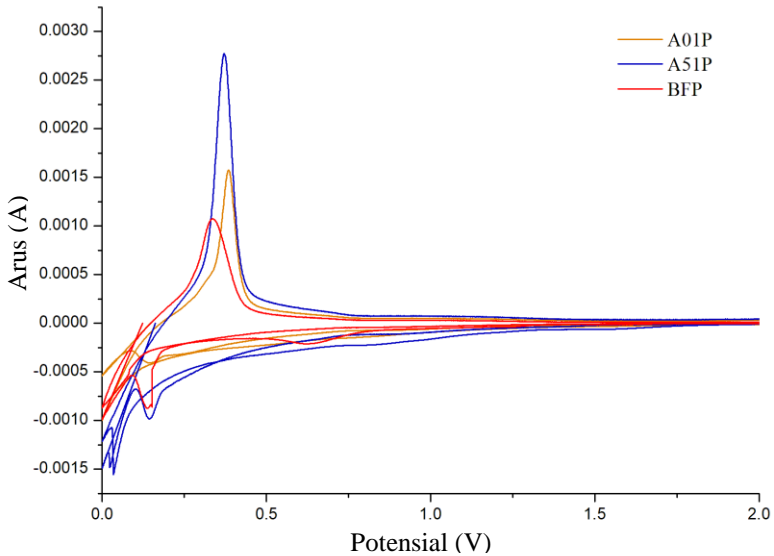
Material anoda pada LIB bekas memiliki potensi untuk digunakan kembali pada LIB baru, berdasarkan hasil karakterisasi XRD dan FTIR. Koin sel yang terbentuk dari daur ulang material anoda LIB bekas akan diuji kemampuan elektrokimianya melalui uji voltametri siklik dan *charge-discharge* menggunakan *Automatic Battery Cycler WonATech WBCS3000*, Korea. Hasil dari uji voltametri siklik berupa puncak reduksi-oksidasi baterai dan hasil dari *charge-discharge* berupa nilai kapasitas baterai.

4.3.1 Hasil Pengujian Voltametri Siklik

Uji voltametri siklik bertujuan untuk mengetahui nilai arus yang muncul karena potensial yang diberikan dan kemungkinan reaksi reduksi-oksidasi yang terjadi pada sel baterai. Potensial yang diberikan pada uji voltametri siklik merupakan suatu *range* yang ditentukan selama *scan* potensial (*scanrate*) tertentu. Sampel yang diuji berupa sel koin CR 2032 dengan katoda Li metal (uji setengah sel), anoda grafit hasil perlakuan seperti yang terdapat pada Tabel 3.1, dan elektrolit LiPF_6 .

Sampel baterai diukur dengan *scanrate* 0,1 mV/s pada potensial 0–2 V. Seluruh sampel memiliki bentuk voltamogram yang mirip seperti yang ditunjukkan Gambar 4.5 dan menghasilkan nilai arus puncak yang berbeda-beda (Tabel 4.3). Arus puncak anodik yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh Pratiwi, pada tahun 2019, yakni menggunakan LIB dengan material anoda grafit hasil pemisahan mekanis tanpa dilakukan perlakuan.

Baterai ion lithium yang menggunakan material anoda hasil perlakuan tanpa penambahan grafit (A01P) memiliki nilai arus puncak anodik sebesar 1,573 mA. Nilai ini lebih besar dibandingkan LIB yang menggunakan material anoda dari baterai baru dengan perlakuan (BFP) yang memiliki nilai arus puncak sebesar 1,074 mA. Sampel dengan nilai arus puncak tertinggi, 2,771 mA, terdapat pada LIB yang menggunakan material anoda bekas hasil perlakuan dengan penambahan grafit sebanyak 5% dari berat sampel (A51P).



Gambar 4. 5 Hasil voltametri siklik LIB dengan material anoda hasil perlakuan

Seluruh sampel memiliki potensial anodik pada kisaran 0,300 V (ditunjukkan pada Tabel 4. 3). Potensial anodik tertinggi terdapat pada sampel A01P sebesar 0,386 V sedangkan potensial anodik terendah terdapat pada sampel BFP sebesar 0,338 V. Sampel A51P memiliki nilai potensial anodik yang mendekati nilai potensial anodik A01P, yaitu sebesar 0,371 V. Material anoda tanpa perlakuan, menghasilkan potensial anodik yang lebih tinggi yaitu berkisar di 0,400 V, namun nilai arus puncak anodik yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan LIB yang menggunakan material anoda dengan perlakuan.

Tabel 4. 3 Perbandingan data nilai arus puncak anodik LIB dengan material anoda tanpa perlakuan dan dengan perlakuan.

Sampel	Keterangan	Penambahan Grafit	Arus Puncak (mA)	Potensial (V)
Pratiwi, (2019)				
AT01	LIB dengan material anoda bekas tanpa perlakuan	0%	0,156	0,454
AT51		5%	0,315	0,473
Hasil Percobaan				
A01P	LIB dengan material anoda bekas dengan perlakuan	0%	1,573	0,386
A51P		5%	2,771	0,371
BFP	LIB dengan material anoda baru dengan perlakuan	0%	1,074	0,338

Seluruh sampel LIB yang menggunakan material anoda hasil perlakuan memiliki nilai arus puncak anodik yang lebih tinggi daripada LIB yang menggunakan material anoda tanpa perlakuan. Material anoda hasil perlakuan (A01P) menunjukkan nilai arus puncak yang lebih tinggi yaitu sebesar 1,573 mA, dibandingkan material anoda yang tidak melalui perlakuan (AT01) 0,156 mA. Penambahan grafit sebanyak 5% pada material aktif anoda terbukti dapat meningkatkan nilai

arus puncak pada LIB. Pada sampel anoda tanpa perlakuan, arus puncak tertinggi 0,315 mA terdapat pada sampel AT51, sedangkan pada sampel anoda dengan perlakuan, nilai arus puncak tertinggi, sebesar 2,771 mA terdapat pada sampel A51P.

Nilai arus puncak katodik dari material anoda hasil perlakuan, muncul dikisaran potensial 0,150 V. Pada sampel A01P diperoleh arus katodik sebesar 0,409 mA, A51P sebesar 0,9842 mA, dan BFP sebesar 0,7236 yang secara berturut-turut muncul di potensial 0,151 V; 0,145 V; dan 0,138 V. Sampel A51P memiliki nilai arus puncak katodik dan anodik tertinggi daripada kedua sampel lainnya, yang membuktikan bahwa penambahan grafit sebanyak 5% akan meningkatkan nilai arus puncak LIB.

Munculnya arus puncak anodik dan katodik pada sampel yang diuji menunjukkan adanya reaksi reduksi-oksidasi (persamaan 2.4) pada sampel LIB yang menggunakan material anoda hasil perlakuan dan katoda Li metal. Pengujian setengah sel baterai menunjukkan bahwa material anoda hasil perlakuan dapat digunakan sebagai material anoda untuk LIB.

Potensial rata-rata pada sampel LIB dapat dihitung menggunakan persamaan 2.11. Menggunakan persamaan tersebut, diperoleh potensial rata-rata dari anoda hasil perlakuan A01P sebesar 0,118 V; A51P sebesar 0,113 V; dan BFP sebesar 0,100 V. Anoda dari LIB bekas hasil perlakuan tanpa penambahan grafit (A01P) memiliki potensial rata-rata paling tinggi dibandingkan kedua sampel lainnya yaitu A51P dan BFP. Sehingga, diprediksikan bahwa material anoda hasil perlakuan tanpa penambahan grafit, akan menghasilkan kapasitas yang lebih baik dibandingkan material anoda tanpa penambahan grafit dan material anoda dari LIB baru.

4.3.2 Hasil Pengujian *Charge-Discharge*

Sampel diuji *charge-discharge* untuk mengetahui nilai kapasitas baterai. Kapasitas menggambarkan sejumlah energi maksimum material serta dapat dikeluarkan dengan kondisi tertentu, yang dinyatakan dalam mAh/g (Hikmah, 2019). Nilai kapasitas ini sebanding dengan jumlah ion lithium yang bergerak saat terjadi *charge* dan *discharge*. Sebelum dilakukan uji *charge-discharge* sampel baterai telah lebih dahulu diuji voltametri siklik untuk mengetahui apakah baterai berfungsi atau tidak, yang ditinjau dari munculnya puncak anodik dan katodik. Puncak anodik menunjukkan adanya reaksi oksidasi, dan puncak katodik menunjukkan adanya reaksi reduksi. Pada proses *charge* Li^+ mengalami interkalasi masuk ke dalam material anoda dan saat *discharge* Li^+ mengalami de-interkalasi dari material anoda masuk ke material katoda (Aditya, 2016).

Tabel 4. 4 Massa material aktif anoda yang diuji

Sampel	Massa Total (g)	Massa Cu foil (g)	Massa Material (g)	Massa Material Aktif (g)
A01P	0,0426	0,0277	0,0149	1,2665
A51P	0,0485	0,0248	0,0237	2,0145
BFP	0,0382	0,0265	0,0117	0,9945

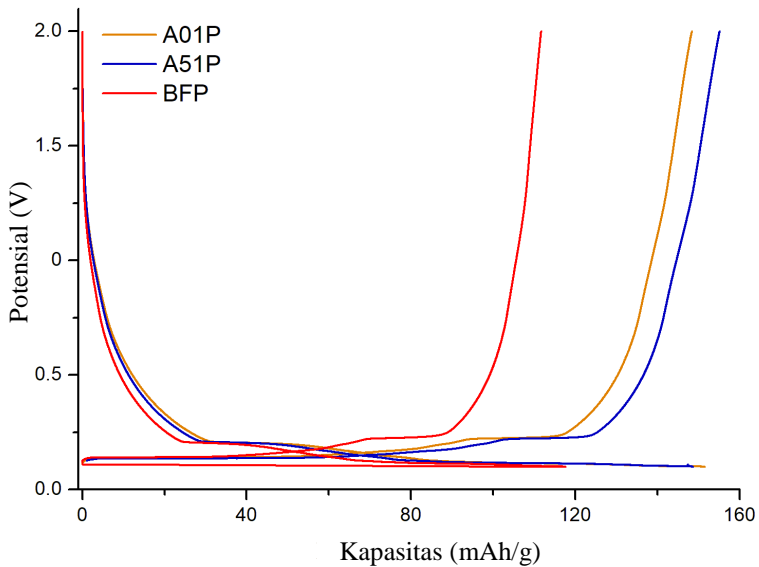
Pada penelitian ini digunakan *scanrate* 0,1 C dan diukur pada potensial 0-2 V. Berat material aktif masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 4.4. Hasil uji *charge-discharge* material anoda hasil perlakuan ditunjukkan pada Gambar 4.6 dengan nilai kapasitas masing-masing sampel ditunjukkan

pada Tabel 4.5. Kapasitas *discharge* tertinggi yaitu 151,489 mAh/g terdapat pada sampel A01P dan kapasitas *charge* tertinggi 155,130 mAh/g pada sampel A51P. Nilai kapasitas material anoda bekas lebih tinggi dibandingkan material anoda baru yang menghasilkan kapasitas *discharge* 117,582 mAh/g dan *charge* 111,693 mAh/g.

Tabel 4. 5 Nilai kapasitas spesifik dan efisiensi sampel LIB yang diuji

Sampel	Kapasitas Spesifik <i>Charge</i> (mAh/g)	Kapasitas Spesifik <i>Discharge</i> (mAh/g)	Efisiensi Charge/Discharge (%)
A01P	148,374	151,489	98
A51P	155,130	148,621	96
BFP	111,693	117,582	95

Sampel A01P dan BFP, memiliki nilai kapasitas *discharge* yang melebihi kapasitas *charge*. Hal ini disebabkan adanya ion Li^+ yang sudah tersimpan pada material aktif anoda (grafit) sebelum dilakukan *charge*, sehingga ion Li^+ ini ikut berpindah saat terjadi *discharge* dan menghasilkan kapasitas yang lebih besar daripada kapasitas *chargenya*. Sedangkan pada sampel A51P terjadi sebaliknya, dimana kapasitas *charge* lebih besar daripada kapasitas *dischargenya*. Hal ini menunjukkan Li yang teroksidasi saat dilakukan *charge*, tidak seluruhnya kembali tereduksi saat dilakukan *discharge*. Hal ini disebabkan terbentuknya lapisan SEI yang baru, karena menggunakan penambahan grafit baru sebagai campuran material pada anoda bekas hasil perlakuan.



Gambar 4. 6 Kurva *charge-discharge* material anoda hasil perlakuan

Seluruh material anoda hasil perlakuan memiliki efisiensi yang baik karena mendekati 100%. Efisiensi tertinggi terdapat pada sampel anoda bekas tanpa penambahan grafit (A01P) yang efisiensinya mencapai 98% dan efisiensi terendah yaitu 95%, terdapat pada sampel anoda baru (BFP). Penambahan grafit pada material anoda menunjukkan efisiensi yang lebih rendah daripada tanpa penambahan (96%). Hal ini disebabkan grafit yang digunakan kurang cocok apabila dipadukan dengan grafit pada material anoda hasil perlakuan.

Pada penelitian sebelumnya, oleh Pratiwi pada tahun 2019, material anoda bekas tanpa perlakuan dan tanpa penambahan grafit, menghasilkan efisiensi terendah sebesar 78%, dengan penambahan grafit sebanyak 5%. Sedangkan

efisiensi tertinggi yaitu 100% diperoleh material anoda tanpa penambahan grafit, dengan kapasitas *charge* dan *discharge* sebesar 137,695 mAh/g. Nilai kapasitas ini lebih rendah dibandingkan material anoda dengan perlakuan yang menunjukkan nilai kapasitas *charge* sebesar 148,374 mAh/g dan kapasitas *discharge* sebesar 151,489 mAh/g. Hal ini membuktikan bahwa material anoda yang dilakukan perlakuan, dapat meningkatkan kapasitas baterai karena sebagian *binder*, elektrolit, dan pelarut yang kering telah dihilangkan.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Material anoda dari daur ulang LIB berhasil didapatkan dengan pemisahan secara mekanis dan perlakuan panas. Uji performa baterai hasil perlakuan, menggunakan CV menunjukkan potensial rata-rata anoda dari LIB bekas (0,118 V), lebih tinggi daripada anoda LIB baru (0,100 V). Penambahan grafit sebanyak 5% dari berat sampel pada material anoda bekas, berhasil meningkatkan arus puncak (2,771 mA) namun tidak meningkatkan potensial baterai. Pada uji CD, didapatkan efisiensi tertinggi (98%) pada anoda LIB bekas hasil perlakuan, tanpa penambahan grafit dengan nilai kapasitas *charge* 148,374 mAh/g dan *discharge* 151,489 mAh/g.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini adalah:

1. Uji performa baterai dengan *charge-discharge* sebaiknya diperpanjang untuk melihat stabilitas baterai.
2. Penambahan HCl untuk pencucian material anoda dapat dilakukan untuk meningkatkan nilai kapasitas baterai.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. dan Khairurrijal, 2009, Review: Karakterisasi Nanomaterial, *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, **2**(1), 1-9.
- Aditya, N. S. T., 2016, Analisa Pengaruh Temperatur Hidrotermal pada Proses Sintesis Anoda MnO₂ Terhadap Morfologi dan Performa Elektrokimia Baterai Lithium Ion, Skripsi, Surabaya: Jurusan Material dan Metalurgi, FTI, ITS.
- An, S. J., 2016, The state of understanding of the lithium-ion-battery graphite solid electrolyte interphase (SEI) and its relationship to formation cycling, *Elsevier Ltd., Carbon* **105**, 52-76.
- Atkins, P. W., 1999, Kimia Fisika, edisi ke-2, Erlangga : Jakarta
- Aziz, A. Q., 2018, Desain dan Implementasi Battery Management System pada Kendaraan Listrik, Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- Badan Pusat Statistik, 2018, www.bps.go.id, (<https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/985>) diakses pada 10 November 2018.
- Birkl, C., McTurk, E., Roberts, M., Bruce, P., dan Howey, D., 2015, A Parametric Open Circuit Voltage Model for Lithium Ion Batteries, *Journal of The Electrochemical Society*, **162**(12), A2271-A2280.
- Boydén, A., Soo, V. K. dan Doolan, M., 2016, The Environmental Impacts of Recycling Portable Lithium-Ion Batteries, *Procedia CIRP*, **48**, 188 – 193.
- Bresser, D., Passerini, S., dan Copley, M., 2015, Secondary Lithium-Ion Battery Anodes: From First Commercial Batteries to Recent Research Activities, *Johnson Matthey Technol. Rev.*, **59** (1), 34–44.
- Dharmasena, J., 2017, Analysis of Separator and Binder Materials in Lithium Ion Batteries, *AZO Materials*,

- (<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=14583>), diakses pada 20 Januari 2019.
- Exline, D., 2013, Comparison of Raman and FTIR Spectroscopy: Advantages and Limitation, Arizona: RDD.
- Feng, C., Khulbe, K. C., Matsuura, T., dan Ismail, A. F., 2013, Recent Progresses in Polymeric Hollow Fibermembrane Preparation, Characterization and Applications, *Separation and Purification Technology*, **111**, 43–71.
- Hao, Y., Lai, Q., Liu, D., Xu, Z., dan Ji, X., 2005, Synthesis by Citric Acid Sol–Gel Method and Electrochemical Properties of $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Anode Material for Lithium-Ion Battery, *Materials Chemistry and Physics*, **94**, 82–387.
- Hikmah, A. M., 2019, Fabrikasi Anoda Baterai Ion Litium Dengan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Sebagai Material Aktif dan Kitosan-PVA Sebagai Binder, Tesis, Surabaya: Departemen Kimia, FS, ITS.
- Hisan, A. R., Handayani, I. P. dan Iskandar, R. F., 2016, Perancangan dan Realisasi Sistem Manajemen Termal Baterai Lithium Ion Menggunakan Metode Pendinginan Semi-Pasif, *Proceeding of Engineering*, **3**(3), 4948-4955.
- Huang, B., Pan, Z., Su, X. dan An, L., 2018, Recycling of lithium-ion batteries: Recent advances and perspectives, *Journal of Power Sources*, **399**, 274–286.
- Hu, L., Zhang, Z. dan Amine, K., 2013, Electrochemical investigation of carbonate-based electrolytes for high voltage lithium-ion cells, *Journal of Power Sources*, **236**, 175-180.
- Jain, A., 2014, Studies On Biomass Based Activated Charcoal For Electrochemical Double Layer Capacitors, *Department of Physics Jaypee University Of Engineering And Technology Guna*, 473 226.

- Kam, K. C. dan Doeff, M. M., 2012, Electrode Materials for Lithium Ion Batteries, *Material Matters*, **7**, n4.
- Kaskhedikar, N. A. dan Maier, J., 2009, Lithium Storage in Carbon Nanostructures, *Advanced Materials*, **21**, 2664–2680.
- Khalafi, L. dan Rafiee, M., 2017, Cyclic Voltammetry, *Encyclopedia of Physical Organic Chemistry*, Madison: John Wiley & Sons, Inc., 3-41.
- Lestariningsih, T., Prihandoko, B. dan Wigayati, E. M., 2016, Perbandingan Sifat Elektrokimia Garam LiBOB dan LIPF₆ Sebagai Elektrolit Dalam Sel LiFePO₄/Li, *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016*, **5**, 43-48.
- Linden, D., 2002, *Handbook of Batteries*. New York: McGraw-Hill Inc.
- Li, Q., Chen, J., Fan, L., Kong, X., dan Lu, Y., 2016, Progress in Electrolytes for Rechargeable Li-based Batteries and Beyond, *Green Energy and Environment*, 18-42.
- Manurung, R., 2015, Analisis Daya pada Baterai dengan Metode Charge dan Discharge, Skripsi, Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Marpaung, G. F., 2017, Fabrikasi Lithium Titanate Terdoping Al (Li₄Ti_{4,975}Al_{0,025}O₁₂) dan Studi Pengaruh Ketebalan Lembaran Elektroda pada Sel Setengah Baterai Ion Lithium, Skripsi, Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Missyul, A., Bolshakov, I. dan Shpanchenko, R., 2017, XRD study of phase transformations in lithiated graphite anodes by Rietveld method, *Powder Diffraction*, **32**, S56-S62.
- Moradi, B. dan Botte, G. G., 2016, Recycling of Graphite Anodes for the Next Generation of Lithium Ion Batteries, *J. Appl Electrochem*, **46**, 123–148.
- Mulja, M., dan Suharman, 1995, Analisis Instrumental, Surabaya: Airlangga University Press.

- Mulyani, R., Noviandri, I., Buchari, I. dan Ciptat, 2012, Studi Voltametri Siklik Sodium Dedocyl Benzen Sulfonat Dalam Berbagai Elektroda Dan Elektrolit Pendukung, Skripsi, Sukabumi: Universitas Muhammadiyah Sukabumi.
- Nasution, K., 2015, Pembuatan lembaran Katoda $\text{LiFe}_{0,9}\text{Ni}_{0,1}\text{PO}_4/\text{C}$ dengan Variasi Suhu Pengeringan, Skripsi, Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Ni'mah, S. M., 2016, Pelapisan Bahan Anoda Grafit menggunakan Citric Acid dengan Variasi Temperatur Sintering untuk Meningkatkan Performa Baterai Ion Lithium, Skripsi, Malang: Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Maulana Malik Ibrahim.
- Nitta, N., Wu, F., Lee, J. T. dan Yushin, G., 2015, Li-ion battery materials: present and future. *Materials Today*, **18**(5), 252-264.
- Nurmanta, D. A., Izak, R. D. dan Ady, J., 2013, Optimasi Parameter Waktu Sintering Pada Pembuatan Hidroksiapatit Berpori Untuk Aplikasi Bone Filler Pada Kasus Kanker Tulang (*Osteosarcoma*), Surabaya: Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.
- Pavia, D. L., Lampman, G. L. dan Kriz, G. S., 2001, Introduction to Spectroscopy, 3rd ed., Washington: Thomson Learning.
- Pratiwi, A. R., 2019, Penggunaan Grafit dari Daur Ulang Baterai Bekas untuk Anoda Baterai Ion Lithium Baru, Skripsi, Surabaya: Departemen Kimia, FS, ITS.
- Prihandoko, B., 2010, Pembuatan Nanomaterial sebagai Bahan Komponen Baterai Lithium, Jakarta: Pusat Penelitian Fisika (P2F) LIPI.
- Purnama, D. S., 2016, Efek Penambahan Polyvnyl Pyrrolidone (PVP) pada Variasi Konsentrasi Ca^{2+} dan PO_4^{3-} dalam Komposit Selulosa Mikrobial-Hidroksiapatit sebagai

- Scaffold untuk Bone Healing, Surabaya: ADLN-Perpustakaan Universitas Airlangga.
- Pyun, S.-I., Shin, H. C., Lee, J. W. dan Go, J. Y., 2012, Electrochemistry of Insertion Materials for Hydrogen and Lithium, Monographs in Electrochemistry, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Romiyati, 2016, Sintesis Dan Karakterisasi Nanokatalis $Ni_{(1-x)}V_xFe_2O_4$ Sebagai Fotokatalis Pada Fotodegradasi Zat Warna Remazol Golden Yellow, Tesis, Lampung: Kimia, FMIPA, Universitas Lampung
- Sari, T. M., 2016, Pengaruh Komposisi dan Ketebalan Katoda $LiMn_2O_4$ (Lithium Mangan Oksida) pada Kapasitas Baterai Ion Lithium, Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Satriady, A., Alamsyah, W., Saad, H. A. dan Hidayat, S., 2016, Pengaruh Luas Elektroda terhadap Karakteristik Baterai $LiFePO_4$, *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, **6**(2), 43-48.
- Silveira, A., Santana, M., Tanabe, E. dan Bertuol, D., 2017, Recovery of valuable materials from spent lithium ion batteries using electrostatic separation, *International Journal of Mineral Processing*, **169**, 91–98.
- Subhan, A., 2011, Fabrikasi dan Karakterisasi $Li_4Ti_5O_{12}$ untuk Bahan Anoda Baterai Lithium Keramik, Tesis, Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Sudesh, Kumar, N., Das, S., Bernhard, C., dan Varma, G., 2013, Effect of graphene oxide doping on superconducting properties of bulk MgB_2 , *Superconductor Science And Technology*, **26**, 1-8.
- Tarascon, J.-M. dan Armand, M., 2001, Issues and Challenges Facing Rechargeable Lithium Batteries, *Nature*, **414**, 359-367.
- Tumimomor, F., Maddu, A. dan Pari, G., 2017, Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Bambu Sebagai Elektroda Superkapasitor, *Jurnal Ilmiah Sains*, **17**(1), 73-79.

- Uthaisar, C., Barone, V. dan Fahlman, B. D., 2013, On the chemical nature of thermally reduced graphene oxide and its electrochemical Li intake capacity, **Carbon**, 1-23.
- Wang, B., Yuan, X., Zhao, S., Wu, Y., dan Ree, T., 2015, Liquid Electrolytes, *Lithium Ion Batteries Fundamental and Application*, New York: CRC Press, 274-337.
- Wang, R. Wu, K., Wu, C., 2015, Highly Sensitive Electrochemical Detection of Bisphenol A based on the Cooperative Enhancement Effect of the Graphene–Ni(OH)₂ Hybrid and Hexadecyltrimethylammonium Bromide
- Wigayati, E. M., 2009, Pembuatan dan Karakterisasi Lembaran Grafit Untuk Bahan Anoda Pada Baterai Padat Lithium, *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*, **9**(1), 39-45.
- Winter, M., Besenhard, J. O., Spahr, M. E. dan Novak, P., 1998, Insertion Electrode Materials for Rechargeable Lithium Batteries, *Advanced Materials*, **10**(10), 752-763.
- [www.imperial.ac.uk.,\(http://www3.imperial.ac.uk/pls/portallive/docs/1/7276131.PDF\)](http://www3.imperial.ac.uk/pls/portallive/docs/1/7276131.PDF), diakses pada 28 Januari 2019.
- [www.sigmaaldrich.com.,\(www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/1methyl2pyrrolidinone991387250411?lang=en®ion=ID\)](http://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/1methyl2pyrrolidinone991387250411?lang=en®ion=ID), diakses pada 10 Januari 2019.
- [www.cdhfinechemical.com.,\(https://www.cdhfinechemical.com/images/product/msds/37_1179099980_DIMETHYL CARBONATE-CASNO-616-38-6-MSDS.pdf\)](https://www.cdhfinechemical.com/images/product/msds/37_1179099980_DIMETHYL CARBONATE-CASNO-616-38-6-MSDS.pdf), diakses 18 Januari 2019.
- [www.sigmaaldrich.com.,\(https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/d152927?lang=en®ion=ID\)](https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/d152927?lang=en®ion=ID), diakses 21 Januari 2019.
- www.ltschem.com/msds/LiPF6.pdf, diakses pada 21 Januari 2019.

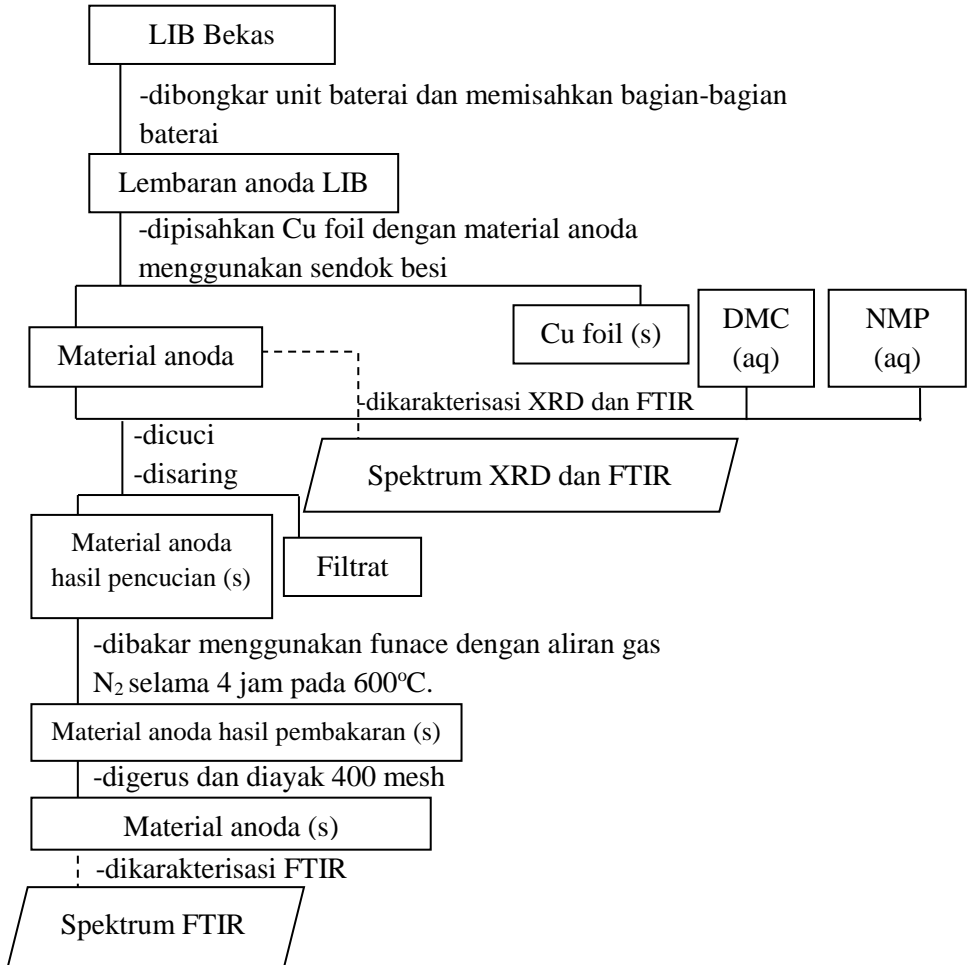
- www.alfa.com/en/catalog/H30253/, diakses pada 21 Januari 2019.
- Xiang, D., Wu, M., Xu, J., Guo, J., dan Chen, Y., 2012, Detecting Method of Specific Capacity of Negative Electrode Material of Lithium Ion Battery After Circulation. China, Paten No. CN102610792.
- Yang, L., Ravdel, B. dan Lucht, B. L., 2010, Electrolyte Reactions with the Surface of High Voltage $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ Cathodes for Lithium-Ion Batteries, *Electrochemical and Solid-State Letters*, **13**(8), A95-A97.
- Yuliusman, 2016, Pengambilan Kembali Logam Litium dan Cobalt dari Baterai Li-Ion dengan Metode Leaching Asam Sitrat, Yogyakarta, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*.
- Zhang, L., 2001, Rechargeable Batteries, *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*.
- Zhang, T., He, Y., Ge, L., Fu, R., Zhang, X., dan Huang, Y., 2013, Characteristics of wet and dry crushing methods in the recycling process of spent lithium ion batteries, *Power Source*, **240**, 766-771.
- Zhang, X. dan Fergus, J. W., 2018, Solid Electrolytes for Lithium Batteries, *International Journal of Technology*, **6**, 1178-1186.
- Zhao, Y., Wu, C., Peng, G., Chen, X., Yao, X., Bai, Y., dan Xu, X., 2016, A New Solid Polymer Electrolyte Incorporating $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ into a Polyethylene Oxide Matrix for All-solid-state Lithium Batteries, *Journal of Power Sources*, **301**, 47-53.
- Zheng, L., Zhang, H., Cheng, P., Ma, Q., Liu, J., Nie, J., dan Zhou, Z., 2016, $\text{Li}[(\text{FSO}_2)(\text{n-C}_4\text{F}_9\text{SO}_2)\text{N}]$ versus LiPF_6 for graphite/ LiCoO_2 lithium-ion cells at both room and elevated temperatures: A comprehensive understanding with chemical, electrochemical and XPS analysis, *Electrochimica Acta*, **196**, 169-188.

Halaman ini sengaja dikosongkan

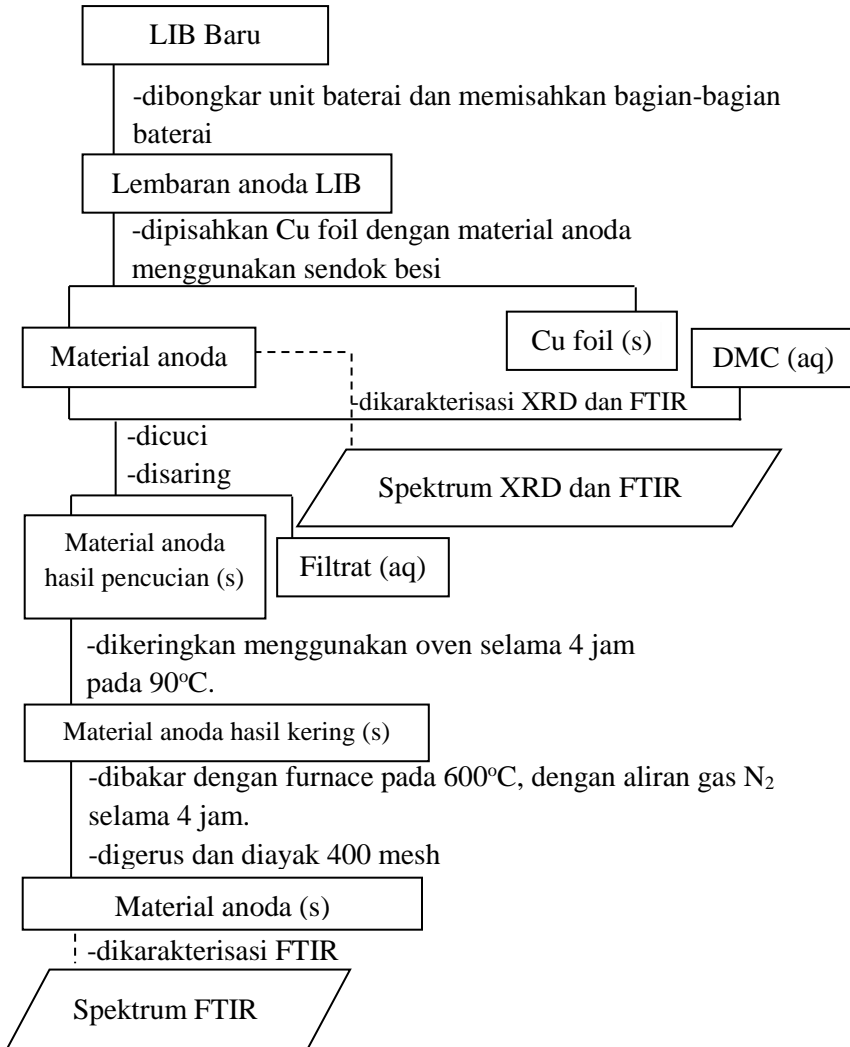
LAMPIRAN

A. Diagram Alir

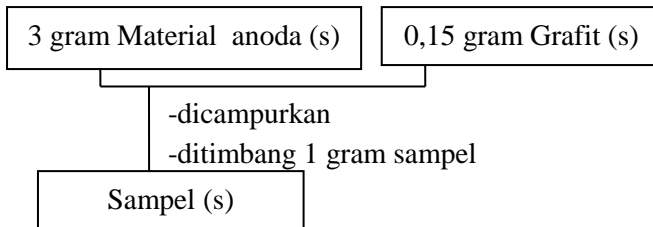
1. Preparasi sampel material anoda dari LIB bekas



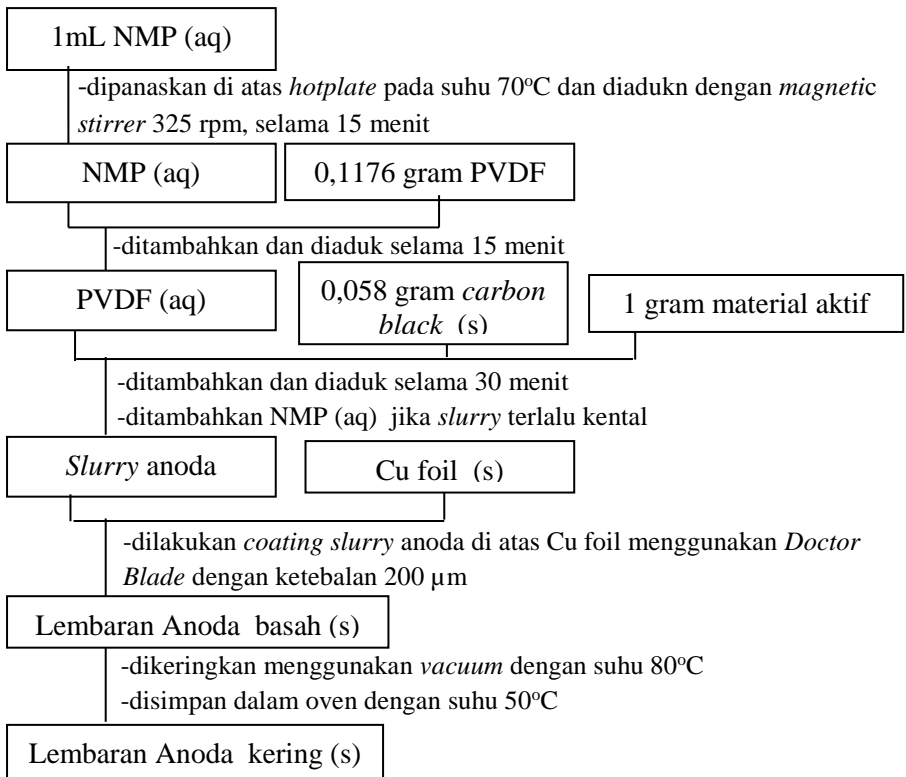
2. Preparasi sampel material anoda dari LIB baru

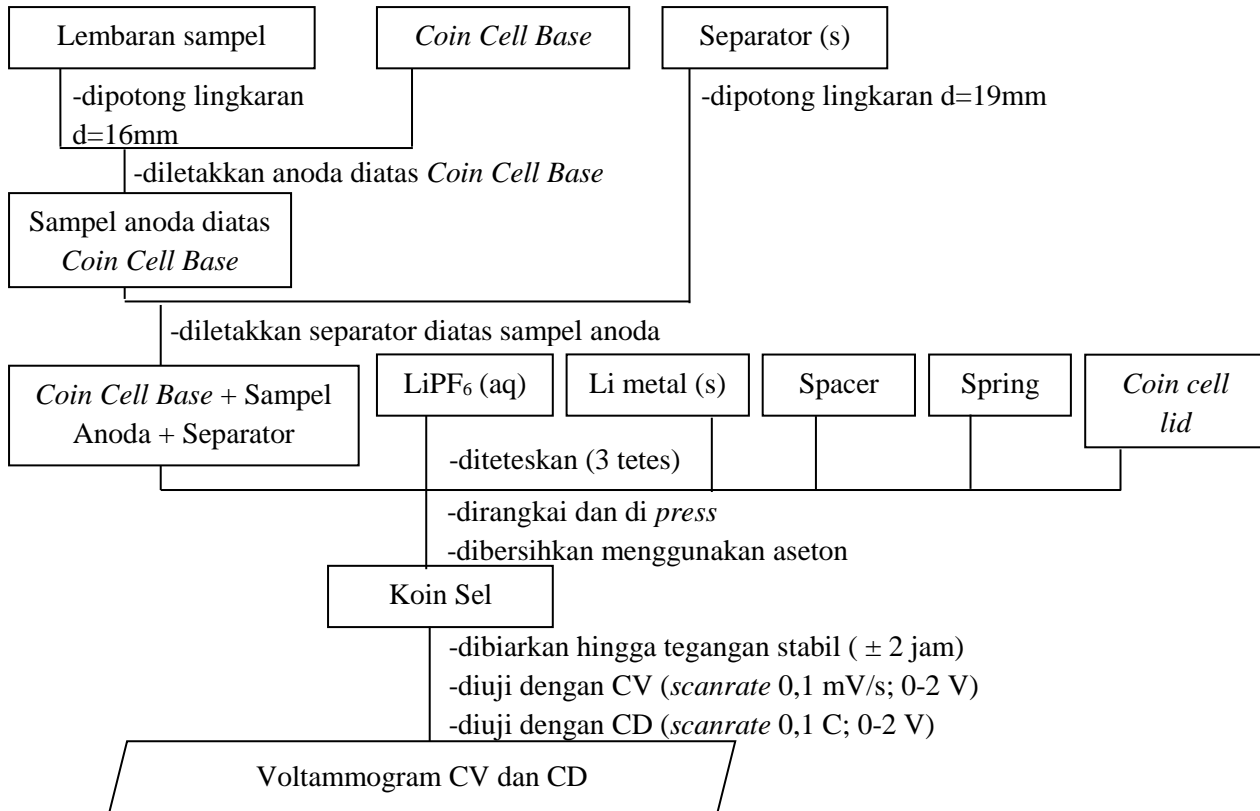


3. Penambahan grafit pada material anoda



4. Pembuatan *slurry* dan *coating*



5. *Assembly* koin sel dan uji elektrokimia

- B. Perhitungan Penambahan Grafit dalam Material Aktif
Sampel A51P menggunakan penambahan grafit 5% pada material anoda.

$$\begin{aligned} 3 \text{ gram material anoda} &= 100\% \\ 5\% \text{ grafit} &= \frac{5}{100} \times 3 \text{ gram} \\ &= 0,15 \text{ gram} \end{aligned}$$

3 gram material anoda + 0,15 gram grafit = 3,15 gram material aktif

1 gram dari 3,15 gram material aktif digunakan untuk membuat *slurry*

- C. Perbandingan Komposisi Bahan *Slurry*
Pada penelitian ini dibuat *slurry* dengan perbandingan material aktif : bahan pengikat : bahan adiktif = 85 : 10 : 5.

$$\begin{aligned} 85\% \text{ Material aktif} &= 1 \text{ gram} \\ 10\% \text{ Bahan pengikat (PVDF)} &= \frac{10}{85} \times 1 \text{ gram} \\ &= 0,1176 \text{ gram} \\ 5\% \text{ Bahan adiktif (Carbon black)} &= \frac{5}{85} \times 1 \text{ gram} \\ &= 0,058 \text{ gram} \end{aligned}$$

Jadi, berat total *slurry* (100%)

$$= (1 + 0,1176 + 0,058) \text{ gram}$$

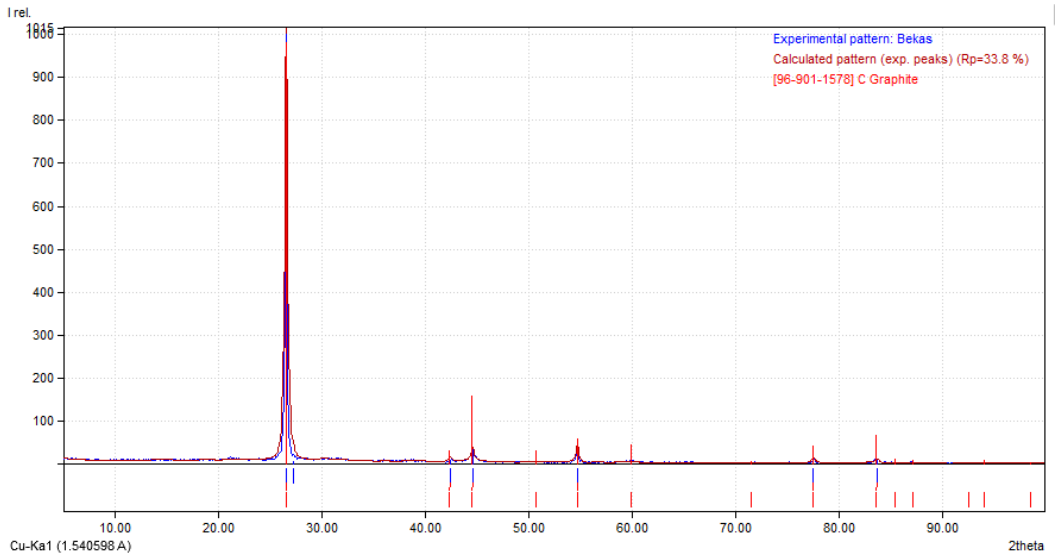
= 1,176 gram yang dilarutkan dalam ±2mL NMP

D. Perhitungan Massa Material Aktif yang digunakan dalam Koin Sel

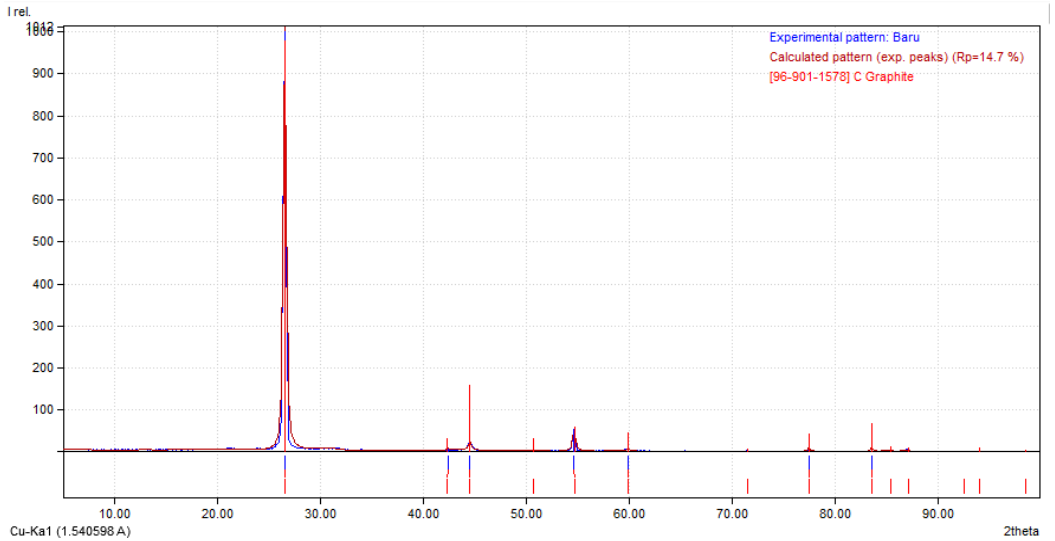
$$\begin{aligned}
 \text{Massa material (A01P)} &= \text{massa total} - \text{massa Cu foil} \\
 &= (0,0426 - 0,0277) \text{ gram} \\
 &= 0,0149 \text{ gram} \\
 &(\text{massa material})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa material aktif} &= \text{Massa material} \times 85 \\
 &= 0,0149 \text{ gram} \times 85 \\
 &= 1,2665 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

E. Pengolahan XRD dengan *Match!* Anoda dari LIB bekas



Anoda dari LIB baru



F. Dokumentasi



Pembongkaran LIB



Pemisahan lembaran anoda



Pencucian anoda LIB baru dengan DMC



Pemisahan material anoda dari Cu foil



Pencucian anoda LIB bekas dengan DMC dan NMP



Material anoda hasil pemisahan



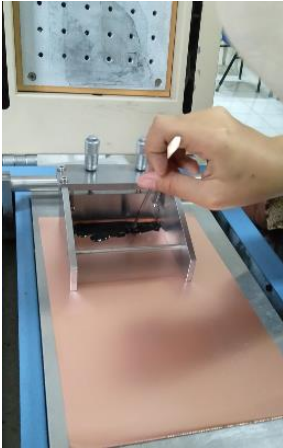
Material anoda hasil pembakaran



Material anoda setelah digerus dan diayak



Slurry dengan kekentalan yang tepat



Proses *coating* menggunakan *doctor blade*



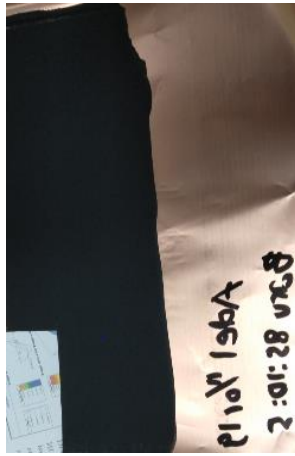
Hasil *coating* lembaran anoda basah



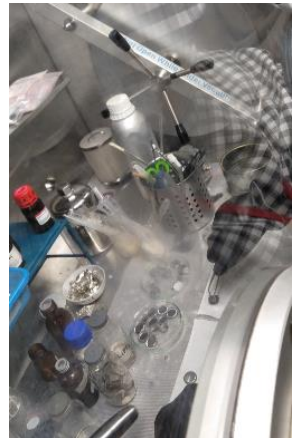
Hasil *coating* lembaran anoda A01P kering



Hasil *coating* lembaran anoda A51P kering



Hasil *coating* lembaran anoda BFP kering



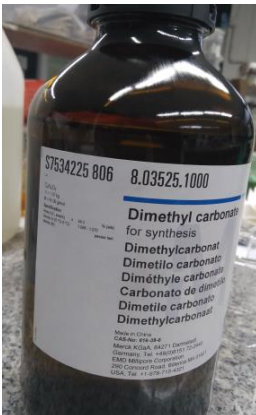
Perangkaian koin sel di dalam *glove box*



Koin sel yang telah dirangkai



Pengujian voltametri siklik dan *charge-discharge*



Larutan DMC



Separator komersil



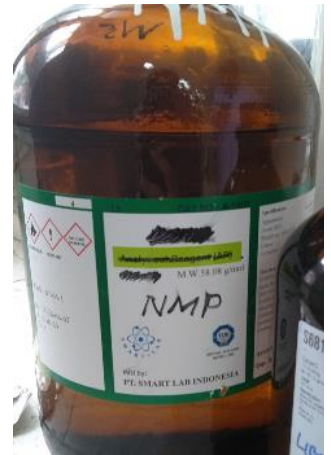
Serbuk grafit



Serbuk *Carbon black*
(Super P)



Serbuk PVDF



Larutan NMP

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Batu, 29 April 1997 dan merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Citra Bunda Batu, SD Citra Bunda Batu, SMPN 1 Batu, dan SMAN 1 Batu. Penulis diterima di Departemen Kimia FS Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2015 yang terdaftar dengan NRP 0121154000090. Selama kuliah, penulis aktif sebagai staf departemen Minat Bakat HIMKA ITS periode 2016/2017, staf departemen HCD LMB ITS periode 2016/2017, staf departemen Media Informasi UKM Karate-Do ITS periode 2016/2017, dan Kepala Departemen Eksternal UKM Karate-Do ITS periode 2017/2018. Selain mengikuti kegiatan organisasi, penulis juga aktif mengikuti kepanitiaan acara di ITS seperti Chemistry Week dan Gerigi ITS. Penulis juga aktif mengikuti beberapa pelatihan pengembangan diri dan keprofesian seperti LKMM PRA TD FMIPA ITS 2015, LKMM TD HIMKA-ITS 2016, Pelatihan ISO 9001:2015, ISO 45001:2018, ISO 17025:2017, dan Workshop FTIR Kimia ITS. Penulis juga pernah mengikuti kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik pada tahun 2018. Penulis mengambil bidang Instrumentasi dan Sains Analitik dalam menyelesaikan Skripsi jenjang S1 di bawah bimbingan Ibu Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D. dan Bapak Suprpto, Ph.D. Segala kritik dan saran bagi Penulis atas naskah ini dapat disampaikan melalui email caprilia6@gmail.com.