

**PENGARUH SUHU AKTIVASI TERHADAP KARAKTERISTIK
KERATIN SEBAGAI ANODA BATERAI ION LITHIUM**

SKRIPSI

Oleh:

DEVI PUSPITASARI

NIM. 14640031



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019**

**PENGARUH SUHU AKTIVASI TERHADAP KARAKTERISTIK
KERATIN SEBAGAI ANODA BATERAI ION LITHIUM**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

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

Oleh:

DEVI PUSPITASARI

14640031

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH SUHU AKTIVASI TERHADAP KARAKTERISTIK
KERATIN SEBAGAI ANODA BATERAI ION LITHIUM

SKRIPSI

Oleh:
Devi Puspitasari
NIM.14640031

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal: 22 Mei 2019

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Ahmad Abtokhi, M.Pd
NIP. 19761003 200312 1 004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH SUHU AKTIVASI TERHADAP KARAKTERISTIK KERATIN SEBAGAI ANODA BATERAI ION LITHIUM

SKRIPSI

Oleh:

Devi Puspitasari
NIM.14640031

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal: 22 Mei 2019

Pembimbing I

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

Pembimbing II

Achmad Subhan, M.T
NIP. 19701109 200003 1 001

Pembimbing III

Ahmad Abtokhi, M.Pd
NIP. 19761003 200312 1 004

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika
UIN Maulana Malik Ibrahim Malang

Kepala Pusat Penelitian Fisika
LIPI

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

Dr. Rike Yudianti
NIP. 19680721 199403 2 003

HALAMAN PENGESAHAN

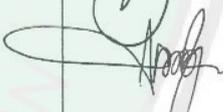
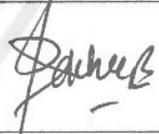
PENGARUH SUHU AKTIVASI TERHADAP KARAKTERISTIK KERATIN SEBAGAI ANODA BATERAI ION LITHIUM

SKRIPSI

Oleh:

Devi Puspitasari
NIM. 14640031

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 22 Mei 2019

Penguji Utama	: <u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Ketua Penguji	: <u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Sekretaris Penguji	: <u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Anggota Penguji	: <u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH SUHU AKTIVASI TERHADAP KARAKTERISTIK KERATIN SEBAGAI ANODA BATERAI ION LITHIUM

SKRIPSI

Oleh:

Devi Puspitasari

NIM. 14640031

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 22 Mei 2019

Penguji Utama	:	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Ketua Penguji	:	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Sekretaris Penguji	:	<u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Anggota Penguji I	:	<u>Achmad Subhan, M.T</u> NIP. 19701109 200003 1 001	
Anggota Penguji II	:	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Devi Puspitasari
NIM : 14640031
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Karakteristik
Keratin Sebagai Anoda Baterai Ion Lithium

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

Malang, 22 Mei 2019
Yang Membuat Pernyataan,



Devi Puspitasari
14640031

MOTTO

“ Kegagalan adalah Pengalaman”
(Ayase Chihaya - Chihayafuru)

“ Paksa Otakmu Berfikir Jika Kau Tidak Ingin Mati”
(Levi Ackerman - SNK)

“ Sesungguhnya Setelah Kesulitan itu Ada Kemudahan”
(Qs. Al-Insyirah 94:6)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT
Sholawat serta salam kami tujukan kepada Nabi Muhammad SAW

Skripsi ini ku persembahkan untuk:

Keluargaku

Bapak (Kholil Ma'ruf), Ibuku di syurga (Siti Khotimah) dan Ibuku juga
(Siti Nafi'ah), yang tidak pernah lelah membimbing dan selalu
mendukung semua mimpiku.

Adek - adekku (Dwi Risma A. dan M. Hafidz Ma'arif) yang selalu
mendo'akan dan tetap percaya padaku.

Semua keluarga besar yang selalu mendo'akanku.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas rahmat, taufiq, serta hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan tepat waktu. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi kita, Nabi Muhammad SAW, yang telah membimbing kita kepada jalan Islam.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan seminar hasil ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya laporan penelitian ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof Dr. Abdul Haris M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Rike Yudianti selaku Kepala Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
5. Erna Hastuti, M.Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
6. Achmad Subhan, M.T selaku Pembimbing Skripsi di Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
7. Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku Pembimbing Integrasi Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
8. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
9. Segenap Peneliti, Riset Asisten dan Karyawan di Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
10. Orang tua serta keluarga di rumah yang selalu berdoa dan memberi dukungan kepada penulis.

11. Keluarga Kos Mami di Tangerang, yang memberikan perlindungan dan kenyamanan selama di Tangerang.
12. Keluarga Kos 41J2 Malang, yang menemaniku dalam perantauan.
13. Teman – teman Fisika Angkatan 2014 yang selalu berjuang bersama.
14. Teman – teman MSC yang selalu membantu.
15. Semua Pihak yang telah membantu kepenulisan skripsi ini.

Demikian yang dapat penulis sampaikan, kurang lebihnya penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya. Semoga laporan ini dapat bermanfaat. Amin.

Malang, Mei 2019

Penyusun



DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Baterai	7
2.1.1 Baterai Ion Lithium	7
2.1.2 Anoda	9
2.1.3 Katoda	11
2.1.4 Separator	12
2.1.5 Elektrolit	12
2.2 Karbon Aktif	14
2.2.1 Stuktur Karbon Aktif	14
2.2.2 Pembuatan Karbon Aktif	15
2.3 Keratin	17
2.4 Komponen Tambahan Anoda Baterai	20
2.4.1 <i>Copper Foil</i> (Cu – Foil)	20
2.4.2 <i>Carbon Black Super P</i>	20
2.4.3 PVDF (<i>poly vinylidene fluoride</i>)	21
2.5 XRD	22
2.6 SEM	23
2.7 Voltametri Siklik	24
2.8 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	25
2.9 <i>Charge-Discharge</i> (CD)	27
2.10 Spektroskopi Raman	28
2.11 BET	29
2.12 Kajian Pustaka	30
2.13 Kajian Integrasi Islam	33
BAB III METODELOGI	36
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	36

3.2	Jenis Penelitian	36
3.3	Variabel Penelitian	36
3.4	Peralatan dan Bahan Penelitian	37
3.4.1	Peralatan Penelitian	37
3.4.2	Bahan	38
3.5	Prosedur Penelitian.....	39
3.5.1	Karbonisasi dan Aktivasi Karbon Bulu Ayam.....	39
3.5.2	Karakterisasi Material	40
3.5.3	Pembuatan <i>Slurry</i>	40
3.5.4	Pembuatan Lembaran.....	41
3.5.5	<i>Calendering</i> dan <i>Cutting</i> Lembaran Anoda	41
3.5.6	<i>Asembly</i> Baterai.....	42
3.5.7	Uji Baterai	42
3.6	Diagram Alur Penelitian.....	43
3.6.1	Proses Karbonisasi Bulu Ayam.....	44
3.6.2	Diagram Alur Aktivasi Karbon.....	45
3.6.3	Diagram Pembuatan Baterai	46
3.7	Pengambilan Data.....	47
3.7.1	Karakterisasi BET (<i>Brunauer Emmet and Teller</i>)	47
3.7.2	Karakterisasi SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	47
3.7.3	Karakterisasi XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	47
3.7.4	Uji CV (<i>Cyclic Voltametry</i>)	48
3.7.5	Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	48
3.7.6	Pengujian Pengisian dan Pengosongan (<i>Charge-Discharge</i>)	50
3.7.7	Pengujian Spektroskopi Raman	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		51
4.1	Data Hasil Penelitian	51
4.1.1	Preparasi Karbon Bulu Ayam	51
4.1.2	Karakterisasi XRD	52
4.1.3	Karakterisasi Spektroskopi Raman	57
4.1.4	Karakterisasi SEM	58
4.1.5	Karakterisasi BET	61
4.1.6	Pembuatan Baterai	62
4.1.7	Karakterisasi EIS.....	63
4.1.8	Karakterisasi <i>Cyclic Voltametry</i> (CV)	65
4.1.9	Karakterisasi Pengisian dan Pengosongan (<i>Charge-Discharge</i>) ...	67
4.2	Pembahasan	72
BAB V PENUTUP.....		80
5.1	Kesimpulan.....	80
5.2	Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	(a) Skema Proses Elektrokimia dalam Baterai dan (b) Proses Reduksi Oksidasi pada Elektroda Positif dan Negatif.....	8
Gambar 2.2	Struktur α Heliks Keratin	18
Gambar 2.3	FTIR Karbon Bulu Unggas	19
Gambar 2.4	Difraksi Sinar X.....	22
Gambar 2.5	Voltamogram Siklik Reaksi Oksidasi dan Reduksi.....	25
Gambar 2.6	Plot Nyquist	26
Gambar 2.7	Grafik Spektroskopi Raman	29
Gambar 3.1	Diagram Alur Penelitian.....	43
Gambar 3.2	Diagram Alur Karbonisasi Bulu Ayam	44
Gambar 3.3	Diagram Alur Aktivasi Karbon	45
Gambar 3.4	Diagram Alur Pembuatan Baterai	46
Gambar 3.5	Susunan Baterai Koin	46
Gambar 4.1	Pirolisis Bulu Ayam, a) Diagram Perlakuan Suhu dan b) Hasil Pirolisis	52
Gambar 4.2	(a) Difraktogram Serbuk Karbon dan (b) <i>Graphene</i>	53
Gambar 4.3	Pergeseran Puncak Difraksi Bidang (002)	55
Gambar 4.4	Struktur Kristal Karbon Aktif.....	56
Gambar 4.5	Spektroskopi Raman (a) Lembaran Anoda Keratin dan (b) <i>Graphene</i>	57
Gambar 4.6	Hasil SEM Serbuk Keratin (a) Tanpa Aktivasi, (b) Aktivasi 750 °C, (c) 850 °C, dan (d) 950 °C	59
Gambar 4.7	Permukaan Partikel (a) Tanpa Kativasi, (b) Aktivasi Suhu 750, (c) 850, dan (d) 950 °C	60
Gambar 4.8	Nyquist Plot Hasil EIS Keratin.....	63
Gambar 4.9	Hubungan R_s dengan $\omega^{(-1/2)}$ pada Frekuensi Rendah	64
Gambar 4.10	Grafik Voltametri Siklik Keratin Variasi Suhu Aktivasi	66
Gambar 4.11	Pengisian dan Pengosongan Siklus Pertama pada Laju Arus C/4.....	68
Gambar 4.12	Grafik Kapabilitas Laju Arus	69
Gambar 4.13	Kapabilitas Siklus pada Laju Arus C/3	71
Gambar 4.14	Efisiensi Faraday Baterai Keratin Variasi Suhu Aktivasi	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Keuntungan dan Kekurangan dari Masing-masing Jenis Anoda..	10
Tabel 2.2	Karakteristik Beberapa Material Katoda.....	11
Tabel 2.3	Garam yang Digunakan Sebagai Elektrolit Baterai Li-Ion	13
Tabel 2.4	Klasifikasi Karbon Berdasarkan Bentuknya	15
Tabel 3.1	Data Pengujian BET.....	47
Tabel 3.2	Ukuran Kristal Aktivasi Fisika.....	48
Tabel 3.3	Hasil Pengujian CV	48
Tabel 3.4	Resistansi Sampel Uji.....	49
Tabel 3.5	Nilai Impedansi Sampel	49
Tabel 3.6	Kapasitas Baterai	50
Tabel 3.7	Struktur Garfitisasi Sampel Berdasarkan Karakterisasi Raman....	50
Tabel 4.1	Nilai FWHM dan Posisi Puncak Karbon	54
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Struktur Kristal Sampel Keratin dengan Varasi Suhu Aktivasi.....	56
Tabel 4.3	Struktur Garfitisasi Sampel Berdasarkan Karakteristik Raman....	57
Tabel 4.4	Ukuran Partikel Karbon Variasi Aktivasi Suhu	59
Tabel 4.5	Hasil Pengukuran Luas permukaan, Volume Pori dan Jari - jari Pori Karbon	61
Tabel 4.6	Resistansi Keratin dari Data EIS	64
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Konduktivitas, Impedansi Warburg, dan Difusi Ion Lithium.....	65
Tabel 4.8	Hasil Pengujian CV Karbon.....	67
Tabel 4.9	Kapasitas Pengisian dan Pengosongan Siklus Pertama pada Laju Arus C/4	68
Tabel 4.10	Kapasitas Pengosongan (mAh/g) pada Laju yang Berbeda	69
Tabel 4.11	Retensi Laju Arus C/4 Awal dan C/4 Akhir	70
Tabel 4.12	Retensi Siklus pada Laju arus C/3.....	71

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Perhitungan Bahan
- Lampiran 2 Data dan Perhitungan Hasil XRD
- Lampiran 3 Data dan Perhitungan Hasil EIS
- Lampiran 4 Dokumentasi Kegiatan



ABSTRAK

Puspitasari, Devi. 2019. **Pengaruh Suhu Aktivasi terhadap Karakteristik Keratin sebagai Anoda Baterai Ion Lithium**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang. Pembimbing: (I) Erna Hastuti, M.Si. (II) Achmad Subhan, M.T (III) Ahmad Abtokhi, M.Pd.

Kata kunci: Keratin, Aktivasi Fisika, Anoda, Baterai Ion Lithium.

Keratin dari limbah bulu ayam yang dipirolisis dapat digunakan sebagai material anoda baterai ion lithium. Keratin diaktivasi menggunakan KOH 5M dan dipanaskan dengan variasi suhu 750, 850, dan 950 °C dan dialiri gas N₂. Hasil karakterisasi mikrostruktur menggunakan XRD dan spektroskopi raman menunjukkan bahwa karbon membentuk struktur *N-graphene* dan ukuran kristalitnya meningkat setelah diaktivasi. Keratin aktivasi suhu 950 °C memiliki ukuran partikel terkecil (22,95 nm), luas permukaan terbesar (204,91 m²/gr) dan ukuran pori - pori terkecil (1,54 nm). Karbon dari keratin dibuat menjadi anoda dan disusun membentuk baterai setengah sel, kemudian dikarakterisasi menggunakan CV, CD, dan EIS. Puncak oksidasi dan konduktivitas baterai meningkat pada keratin yang teraktivasi. Kapasitas terbesar pada pengosongan pertama yaitu 285,78 mAh/g pada keratin aktivasi suhu 850 °C. Anoda dari keratin aktivasi suhu 950 °C memiliki efektivitas kinerja yang lebih baik dibandingkan keratin aktivasi suhu 850 dan 750 °C.

ABSTRACT

Puspitasari, Devi. 2019. **Effect of Activation Temperature on the Characteristics of Keratin as an Lithium Ion Battery Anode**. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Advisor: (I) Erna Hastuti, M.Si. (II) Achmad Subhan, M.T. (III) Ahmad Abtokhi, M.Pd.

Kata kunci: Keratin, Physics Activation, Anode, Lithium Ion Battery.

Keratin produced from pyrolyzed chicken feather has been utilized as an anode material for lithium ion battery. The keratin activated using 5M KOH and heated at different temperature (750, 850, and 950 °C) under N₂ atmosphere. Microstructure characterization of material using XRD and raman spectroscopy shows that the carbon formed N-graphene structure and the crystallite size increased after activation process. The keratin samples activated at 950 °C have the smallest particle size (22.95 nm), the largest surface area (204.91 m³/gr) and the smallest pore size (1.54 nm). The carbon molded anodes and installed into half cell batteries, then characterized using CV, CD, and EIS. The Oxidation peak and the battery conductivity are increased in the activated keratin. The largest discharge capacity at the first cycle is 285.78 mAh/g for the keratin samples activated at 850 °C. Moreover, the anode of 950 °C sample has better performance comparing to the the 850 and 750 °C samples.

ملخص البحث

فوسفيتاساري، ديفي. 2019. تأثير درجة حرارة التنشيط على خصائص الكيراتين كأنود لبطارية ليثيوم أيون. البحث الجامعي. شعبة الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة الإسلامية الإسلامية مولانا مالك إبراهيم، مالانج. المشرفة: (I) إرنا هستوتي، الماجستير (II) أحمد سبحان، الماجستير (III) وأحمد أبطخي، الماجستير

الكلمات الرئيسية: الكيراتين، تنشيط الفيزياء، أنود ، بطارية ليثيوم أيون.

كيراتين من نفايات ريش الدجاج المخلع يمكن أن يستخدم كمادة أنود لبطارية ليثيوم أيون. نشاط الكيراتين هو باستخدام KOH 5M ويسخنه مع اختلاف درجات حرارة بين 750 و 850 و 950 درجة مئوية في ظروف تدفق غاز N_2 . دلت نتائج التوصيف باستخدام XRD والتحليل الطيفي الفوري أن الكربون يشكل مركب ن- الجرافين (N-graphene) وزاد حجم البلورات بعد التنشيط. دلت بيانات SEM أن الكيراتين لتنشيط درجة الحرارة 950 درجة مئوية له أصغر حجم للجسيمات، أي 22.95 نانومتر. الكيراتين لتنشيط درجة الحرارة 950 درجة مئوية له أكبر مساحة سطحية (204.91 م³/غرام) وأصغر حجم المسام (1.54 نانومتر). تكون الكربون من الكيراتين إلى أنود ورتبه في بطارية لنصف خلية، تميز باستخدام CV، CD، و EIS. ذروة الأكسدة والتوصيل بالبطارية زيادة في الكيراتين المنشط. أكبر سعة للإفراغ الأول هو 285.78 ميل أمبير لساعة/غرام في الكيراتين لتنشيط درجة الحرارة بقدرة 850 درجة مئوية. أنود من الكيراتين لتنشيط درجة الحرارة بقدرة 950 درجة مئوية له أفضل فعالية من الكيراتين لتنشيط درجة الحرارة بقدرة 850 و 750 درجة مئوية.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu energi yang sangat penting pada zaman modern saat ini. Hampir semua kegiatan manusia menggunakan energi listrik. Allah memberikan petunjuk tentang energi listrik dalam firmanNya,

هُوَ الَّذِي يُرِيكُمْ الْبَرْقَ حَوْفًا وَطَمَعًا وَيُنشِئُ السَّحَابَ الثِّقَالَ {12}

“Dialah Tuhan yang memperlihatkan kilat kepadamu untuk menimbulkan ketakutan dan harapan, dan dialah yang mengadakan awan mendung”. (Qs. Ar – Rad, 13:12)

Allah menciptakan الْبَرْقَ (kilat) yang merupakan cahaya yang terlihat dari celah – celah awan. Kilat muncul akibat adanya benturan dua awan yang memiliki aliran arus listrik yang berbeda. Kilatan listrik yang besar akan menyebabkan ketakutan (حَوْفًا) bagi manusia karena dapat menyebabkan bencana, tetapi juga dapat memberikan harapan (طَمَعًا). Pengendalian arus listrik yang baik akan memberikan kehidupan yang lebih maju bagi manusia, karena teknologi – teknologi yang baru akan banyak ditemukan dengan bantuan energi listrik (Al-Maraghi, 1994).

Awal abad ke-19 Alessandro Volta menemukan teknologi baru yang dapat meningkatkan efisiensi dari penggunaan energi listrik yaitu baterai. Baterai merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk menyimpan energi listrik. Baterai dibedakan menjadi dua jenis, yaitu primer (tidak dapat diisi ulang) dan sekunder (dapat diisi ulang). Baterai sekunder yang banyak digunakan dan dikembangkan adalah baterai ion lithium.

Baterai ion lithium banyak digunakan pada perangkat *mobile*, seperti *handphone*, laptop, kendaraan listrik, kamera *digital*, dan lain – lain. Kelebihan baterai ion lithium, yaitu memiliki beda potensial yang tinggi, waktu pengisian yang singkat, dan siklus hidup yang lama (Liu, 2016). Baterai ion lithium memiliki siklus hidup antara 500 – 1000 siklus dengan kapasitas energi spesifik yang besar dan bobot yang ringan (Kasvaye, 2011).

Kinerja yang baik dari baterai ion lithium didukung oleh material - material penyusunnya yang bagus, salah satunya adalah anoda. Bahan anoda baterai ion lithium biasanya terbuat dari karbon berbasis grafit. Grafit memiliki kapabilitas siklus yang bagus (An, 2017), kapabilitas Faradaynya stabil dan kapasitas spesifiknya sebesar 375 mAh/g (Sari, 2015). Material grafit memiliki banyak kelebihan, namun grafit merupakan bahan yang tidak dapat diperbarui (Gao, 2017). Grafit merupakan bahan hasil tambang yang lama kelamaan akan habis, sehingga dibuat bahan alternatifnya dari biomassa.

Biomassa adalah material biologis yang berasal dari makhluk hidup atau organisme yang berstruktur karbon dan mengandung unsur kimia organik, seperti hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sejumlah kecil dari atom - atom lainnya. Biomassa diperoleh dari limbah tumbuhan, hewan, dan manusia. Biomassa dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif pengganti energi yang ramah lingkungan, seperti biofuel, biogas, bioetanol, dan biodiesel (Yokoyama, 2008). Selain manfaat tersebut, biomassa juga dapat digunakan sebagai bahan penyimpan energi.

Biomasa dari batok kelapa dapat digunakan sebagai bahan anoda baterai lithium-sulfur dan memiliki kapasitas sebesar 1233 mAh/g (Liu, 2015). Biomasa

lain yang dapat yang digunakan sebagai bahan anoda baterai lithium-sulfur dan memiliki kapasitas yang cukup besar, yaitu daun celtuce (421 F/g), serbuk gergaji (138 F/g), dan rambut manusia (340 F/g) (Gao, 2017). Biomasa dari bulu ayam juga dapat digunakan sebagai superkapasitor (Zhao, 2015). Rambut manusia dan bulu ayam merupakan biomasa yang mengandung zat keratin dan berpotensi digunakan sebagai penyimpan energi.

Keratin merupakan protein fibrous yang banyak mengandung zat sulfur, glisin, sistein, prolin, dan serin (Bansal, 2017). Keratin dapat diperoleh dari pengerasan jaringan epidermal pada tubuh, seperti tanduk, kulit, bulu, kuku, sisik, dan lain – lain. Bagian tubuh binatang ternak dapat diambil zat keratinnya, salah satunya adalah bulu ayam (Gupta, 2016).

Bulu ayam mengandung 91% protein (keratin), 1% lipid, dan 8% air (Bansal, 2017). Bulu ayam dapat menghasilkan zat keratin dengan gugus fungsi N-H, C-H, -CH₂-S, C≡N, C-O, dan CH₂. Struktur keratin memiliki atom karbon (C) yang mengikat empat atom lainnya, salah satunya yaitu atom -R=. Atom R akan digantikan oleh atom hidrogen. Pengikatan atom hidrogen menandakan bahwa keratin dapat digunakan sebagai *hydrogen storage* (Farida, 2013).

Zat keratin dari bulu ayam dapat digunakan sebagai *hydrogen storage* dengan cara dikarbonisasi. Karbonisasi dilakukan menggunakan metode pirolisis. Pirolisis dengan hasil terbaik dilakukan dalam dua tahap, yaitu pemanasan awal pada suhu 215 °C selama 15 jam, kemudian suhu dinaikan sampai 450 °C dan ditahan selama 1 jam. Suhu dinaikan dengan kecepatan 3 °C/menit. Keratin yang

terbentuk memiliki kapasitas penyimpanan hidrogen sebesar 1,50 wt% dengan perkiraan energi penyerapan sebesar 5 – 6 kJ/mol (Senoz, 2011).

Keratin yang diaktivasi kimia dapat digunakan sebagai anoda baterai ion lithium. Keratin diaktivasi kimia menggunakan KOH 1M, 3M, dan 5M. Aktivasi kimia mempengaruhi struktur dan kinerja anoda. Derajat kristalinitasnya mencapai 31,75 %. Proses interkalasi/deinterkalasi lebih mudah terjadi pada keratin yang teraktivasi dan kapasitas tertinggi yaitu 445,87 mAh/g pada variasi KOH 5M (Agustin, 2017).

Kinerja anoda berbasis karbon aktif juga dipengaruhi oleh suhu aktivasi. Karbon aktif dari kentang diaktivasi menggunakan variasi suhu 900, 1000, dan 1100 °C. Karbon yang telah teraktivasi digunakan sebagai anoda baterai ion potasium. Karbon dengan aktivasi suhu 1000 °C memiliki persebaran mesopori yang merata dengan ukuran 9,2 nm. Derajat disorder pada sampel tersebut memiliki nilai paling kecil yaitu 0,92. Hal tersebut menyebabkan kapasitas anoda meningkat dan mencapai nilai tertinggi (248 mAh/g) (Cao, 2018).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian keratin sebagai bahan anoda baterai ion lithium dengan menggunakan variasi suhu aktivasi. Variasi suhu yang diberikan yaitu 750, 850, dan 950 °C. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu aktivasi terhadap karakteristik dan kinerja keratin sebagai anoda baterai ion lithium.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh suhu aktivasi terhadap karakteristik keratin?
2. Bagaimana pengaruh suhu aktivasi keratin terhadap kinerja anoda baterai ion lithium?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui karakteristik keratin terhadap pengaruh suhu aktivasi
2. Untuk mengetahui pengaruh suhu aktivasi keratin terhadap kinerja anoda baterai ion lithium.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu, dengan ditemukannya bahan baru ini semoga dapat menambah pengetahuan mengenai bahan alternatif yang dapat digunakan sebagai anoda baterai ion lithium dan dapat mengurangi limbah lingkungan.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan bulu unggas asli yang dipirolisis 2 kali yakni pada suhu 215 °C selama 15 jam dan suhu 450 °C selama 1 jam pada kondisi hampa udara. Karbon diaktivasi kimia dengan KOH sebanyak 5 M. Karbon diaktivasi fisika dengan variasi suhu 750, 850, dan 950 °C selama 3 jam dengan dialiri gas N₂. Gas N₂ dialirkan dengan kecepatan 50 ml/menit. *Slurry* dibuat dengan perbandingan karbon aktif 80 %, PVDF 10 %, dan karbon super P 10 % dan DMAC 2 ml. Pengujian karakterisasi material menggunakan uji BET, XRD dan SEM.

Pengujian elektrokimia baterai setengah sel menggunakan uji *cyclic voltammetry* (CV), *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS) dan *charge-discharge* (CD).



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baterai

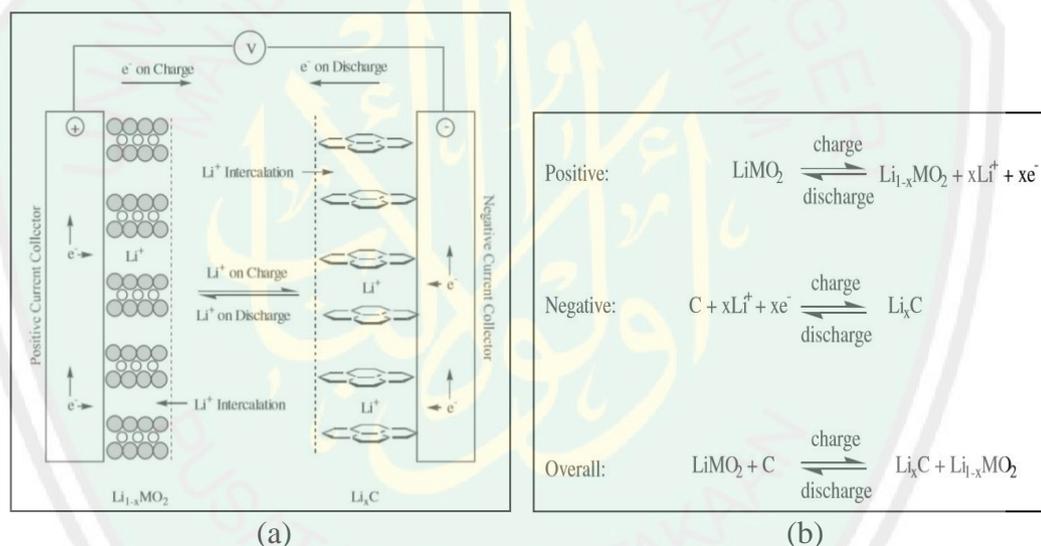
Baterai merupakan suatu alat elektronika yang terdiri dari sepasang elektroda dan elektrolit. Baterai dapat menyimpan energi listrik, karena adanya konversi energi kimia menjadi energi listrik dan sebaliknya melalui reaksi redoks. Reaksi reduksi berlangsung pada katoda dan reaksi oksidasi berlangsung pada anoda. Difusi ion dari katoda ke anoda melalui elektrolit terjadi di dalam baterai, sedangkan di rangkaian luar terjadi transfer elektron dari anoda ke katoda (Hidayat, 2016).

Baterai berdasarkan proses pengosongannya dibedakan menjadi baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang tidak dapat diisi ulang atau sekali pakai. Contohnya yaitu, baterai jam dinding, baterai senter, baterai jam tangan dan masih banyak lainnya. Baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang. Contohnya yaitu, *accu*, baterai *handphone*, baterai laptop dan masih banyak lagi (Kienhe, 2003). Baterai mengalami proses pengisian dan pengosongan. Proses pengisian adalah proses perubahan energi listrik menjadi energi kimia. Proses pengosongan adalah proses perubahan energi kimia menjadi energi listrik (kha dalam Agustin, 2017).

2.1.1 Baterai Ion Lithium

Bateri ion litium merupakan baterai yang digerakkan oleh ion Lithium. Ion lithium bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat digunakan, dan

kembali saat diisi ulang. Baterai Li-ion memakai senyawa lithium interkalasi sebagai bahan elektrodanya. Baterai ion Lithium termasuk dalam jenis baterai isi ulang (Afif, 2015). Elektroda positif baterai ion lithium terbuat dari bahan logam oksida dengan struktur berlapis, seperti *Lithium Cobalt Oxide* (LiCoO_2) atau struktur berongga seperti *Lithium Mangan Oxide* (LiMn_2O_4) yang dilapiskan pada aluminium foil. Material elektroda negatif terbuat dari karbon grafit yang dilapiskan pada lembaran tembaga. Ion lithium masuk dan keluar dari *interstitial space* antara lapisan dalam material aktif (Linden, 2001).



Gambar 2.1 (a) Skema Proses Elektrokimia dalam Baterai dan (b) Proses Reduksi Oksidasi pada Elektroda Positif dan Negatif (Linden, 2001).

Reaksi kimia pada baterai ion lithium ditunjukkan pada gambar 2.1 b. Elektroda positif akan mengalami oksidasi, sedangkan elektroda negatif akan mengalami reduksi saat proses pengisian. Gambar 2.1 a menunjukkan bahwa, saat proses pengisian, ion lithium akan mengalami deinterkalasi dari elektroda positif

(LiMO_2) dan akan terinterkalasi ke elektroda negatif (LiC). Proses pengosongan adalah kebalikan dari proses pengisian (Linden, 2001).

Kelebihan baterai lithium, yaitu memiliki kapasitas penyimpanan yang besar, tidak mengalami *memory effect*, ringan, dan dapat diisi ulang (Liu, 2016). Waktu pengisian baterai ion lithium relatif singkat (2-4 jam). Baterai ion lithium memiliki arus pengisian baterai tertinggi (0,5–1 A). Laju penurunan efisiensi baterai ion lithium rendah (5–10% per bulan) dan lebih tahan lama (masa hidup 3 tahun) (Sari, 2015).

2.1.2 Anoda

Elektroda negatif (anoda) adalah bagian elektroda pada baterai yang mengalami reaksi oksidasi. Reaksi oksidasi adalah reaksi pelepasan elektron, sehingga pada elektroda negatif akan terjadi penumpukan elektron (Harahap, 2016). Anoda biasanya berupa lembaran (Cu foil). Material yang dapat dipakai sebagai anoda harus memiliki kemampuan menyimpan ion dan melepas muatan yang baik, memiliki siklus pemakaian yang lama, mudah untuk diproses, aman dalam pemakaian dan harganya murah (Sari, 2015).

Material anoda yang baik harus memiliki sifat – sifat sebagai berikut (Liu, 2016):

1. Memiliki luas permukaan yang tinggi dan celah yang besar untuk saluran ion lithium.
2. Perubahan volume yang kecil selama penyerapan dan pelepasan ion lithium, karena perubahan volume dapat mempengaruhi stabilitas siklus.

3. Ukuran pori yang besar dan jarak antar pori yang pendek dapat mempermudah ion lithium berpindah.
4. Memiliki *internal resistance* yang rendah, sehingga dapat mempercepat proses pengisian dan pengosongan.
5. Memiliki interkalasi potensial yang rendah terhadap Li
6. Murah dan ramah lingkungan.

Material anoda dapat dibedakan menjadi beberapa kategori yaitu karbon, logam transisi, *alloy/dealloy*, logam sulfida, logam fosfit dan logam nitrit. Material karbon yang dapat digunakan sebagai anoda diantaranya yaitu, grafit, karbon *nanotube*, *amorphous carbon*, dan *graphene*. Si, Sn, Ge, Al, and Bi merupakan *alloy* yang dapat digunakan sebagai anoda. logam oksida seperti M_xO_y ($M = Cu, Mn, Fe, Co, Ni, \dots$) juga dapat digunakan sebagai anoda. Kelebihan dan kelemahan masing masing bahan dijelaskan pada tabel 2.1 (Liu, 2016).

Tabel 2.1 Keuntungan dan Kekurangan dari Masing-masing Jenis Anoda (Liu, 2016).

Material	Theoretical kapasitas (mA h g^{-1})	Kelebihan	Kelemahan
TiO ₂	330	Kecepatan difusi ion lithium tinggi, ramah lingkungan, murah, dan aman.	Kapasitasnya rendah, konduktifitas listriknya rendah, dan kapabilitasnya rendah
<i>Metal oxide</i>	500-1200	Kapasitasnya tinggi, energinya tinggi, dan murah	Memiliki efisiensi faraday yang rendah, formasi SEI yang tidak stabil, konduktifitas listriknya rendah, dan kapasitas penyimpanannya rendah
Karbon	372	Potensi kerjanya bagus, murah, dan aman	Efisiensi faradanya rendah dan Kapaitas tahanannya tinggi

Si	4200	Kapasitas spesifiknya tinggi	Kapaitas tahanannya tinggi dan memiliki siklus yang buruk
Sn	990	Aman, murah, dan konduktivitas listriknya bagus	Siklusnya buruk

2.1.3 Katoda

Elektroda positif atau katoda merupakan elektroda yang mengalami reaksi reduksi. Reaksi reduksi merupakan reaksi penyerapan elektron dan pelepasan ion (Harahap, 2016). Katoda yang biasa dipakai adalah aluminium (Al Foil). Katoda memiliki struktur berlapis dan struktur berongga. Contoh katoda dengan struktur berlapis adalah LiCoO_2 , LiNiO_2 , dan $\text{LiNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_2$. Material spinel seperti MgAl_2O_4 termaksud dalam struktur berongga (Linden, 2001). Beberapa material lain ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik Beberapa Material Katoda (Linden, 2001).

Material	Kapasitas spesifik (mA h/g)	Midpoint V vs. Li (pada 0,05C)	Kelebihan atau kelemahan
LiCoO_2	155	3,88	Tersedia secara komersial, Co mahal
$\text{LiNi}_{0,7}\text{Co}_{0,3}\text{O}_2$	190	3,70	Biaya menengah
$\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,2}\text{O}_2$	205	3,73	Biaya menengah
$\text{LiNi}_{0,9}\text{Co}_{0,1}\text{O}_2$	220	3,76	Kapasitas spesifik tinggi
LiNiO_2	200	3,55	Mengalami dekomposisi
LiMn_2O_4	120	4,00	Mn murah, tidak beracun, dan tidak mudah terdekomposisi.

Karakteristik material yang akan digunakan sebagai anoda yaitu, terbuat dari ion yang mudah melakukan reaksi reduksi dan oksidasi, memiliki konduktivitas yang tinggi, memiliki kerapatan energi yang tinggi, memiliki kapasitas energi yang tinggi, memiliki kestabilan yang tinggi (tidak mudah berubah

strukturnya atau terdegradasi baik saat pemakaian maupun pengisian ulang), harganya murah dan ramah lingkungan (Sari, 2015).

2.1.4 Separator

Anoda dan katoda harus dicegah agar tidak bersentuhan. Kontak antara anoda dan katoda dapat menimbulkan pemutusan arus pendek. Hambatan ion-ion yang berpindah dalam baterai harus kecil. Antara elektroda tersebut diletakkan bahan yang disebut separator, supaya tidak terjadi konslet dan ion dapat berpindah dengan baik. Sparator pertama kali terbuat dari kaca, kemudian seiring berkembangnya waktu ditemukan sparator yang terbuat dari lembaran plastik yang tipis (Kienhe, 2003).

2.1.5 Elektrolit

Proses elektrokimia membutuhkan media pengantar elektron dalam suatu sistem reaksi yang dinamakan elektrolit (Harahap, 2016). Baterai ion lithium menggunakan 4 tipe elektrolit yaitu, elektrolit cair, elektrolit gel, elektrolit polimer, dan elektrolit keramik. Elektrolit cair merupakan larutan dari garam lithium yang di larutkan menggunakan pelarut organik. Elektrolit polimer berbentuk cairan dan material terlarut. Tahap ionik terbentuk dengan melarutkan garam pada polimer dengan berat molekul yang tinggi. Gel elektrolit atau yang sering disebut polimer gel elektrolit akan membentuk konduktif ionik dengan cara, garam dan pelarut dilarutkan atau dicampur polimer dengan berat molekul tinggi. Gel elektrolit baterai ion lithium yang dikembangkan biasanya berupa film dari PVDF-HFP, LiPF_6 , garam LiBF_4 , dan larutan karbonat. Keuntungan dari penggunaan polimer elektrolit

adalah dia tidak mengandung zat yang mudah menguap atau mudah terbakar dan viskositasnya tinggi. Gel elektrolit dalam fase cair akan diserap dalam polimer dan dapat menyebabkan kebocoran pada baterai. Baterai juga menggunakan elektrolit cair yang ditetaskan pada sparator dan terserap oleh elektroda. Elektrolit keramik biasa terbuat dari bahan anorganik, atau material padat yang dapat terionisasi (Linden, 2001).

Elektrolit yang sering digunakan dalam baterai ion lithium adalah LiPF_6 . LiPF_6 memiliki konduktivitas ionik yang tinggi yaitu $> 10 \text{ S/cm}$, jumlah transfer ion lithiumnya tinggi ($\sim 0,35$), dan aman. Elektrolit umumnya diformulasikan dengan pelarut karbonat. Karbonat adalah senyawa yang aprotik, polar dan memiliki sifat dielektrik yang tinggi, dan dapat melarutkan garam Li pada konsentrasi tinggi. Garam lain yang dapat digunakan sebagai elektrolit dijelaskan pada tabel 2.3 (Linden, 2001).

Tabel 2.3 Garam yang Digunakan Sebagai Elektrolit Baterai Li-Ion (Linden, 2001)

Nama ilmiah	Rumus kimia	Mol. wt. (g/mol)	Pengotor	Keterangan
<i>Lithium hexafluorophosphate</i>	LiPF_6	151,9	H_2O (15ppm) HF (100ppm)	Jenis elektrolit yang sering digunakan
<i>Lithium tetrafluorobolaju</i>	LiBF_4	93,74	H_2O (15ppm) HF (75ppm)	sifat higroskopisnya lebih rendah dari LiPF_6
<i>Lithium perchlorolaju</i>	LiClO_4	106,39	H_2O (15ppm) HF (75ppm)	Bahan kurang stabil saat kering
<i>Lithium hexafluoroarsenate</i>	LiAsF_6	195,85	H_2O (75ppm)	Mengandung arsenik

			HF (15ppm)	
<i>Lithium triflate</i>	LiSO_3CF_3	156,01	H_2O (100ppm)	Korosi Al diatas 2,8 V, bahan stabil di air
<i>Lithium bisperfluoroethane sulfonimide (BETI)</i>	$\text{LiN}(\text{SO}_2\text{C}_2\text{F}_5)_2$	387	Lain-lain	Korosi Al diatas 4,4 V, bahan stabil di air

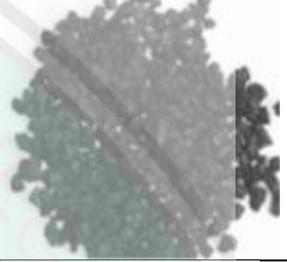
2.2 Karbon Aktif

2.2.1 Struktur Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon yang dihasilkan dari bahan-bahan mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Pori-pori karbon aktif sebagian masih tertutup hidrokarbon, tar, dan senyawa organik lain. Komponennya terdiri dari karbon terikat, abu, air, nitrogen, dan sulfur. Karbon aktif bersifat hidrofobik, yaitu molekul pada karbon aktif cenderung tidak bisa berinteraksi dengan molekul air (Khuluk, 2016).

Arang aktif berbeda dengan arang biasa. Permukaan arang masih ditutupi oleh deposit hidrokarbon yang menghambat keaktifannya. Arang aktif memiliki permukaan yang telah bebas dari deposit, permukaannya luas dan pori-porinya telah terbuka, sehingga memiliki daya serap tinggi (Lempang, 2014). Berdasarkan bentuknya karbon aktif dibedakan menurut tabel 2.4 (Khuluk, 2016).

Tabel 2.4 Klasifikasi Karbon Berdasarkan Bentuknya (Khuluk, 2016).

Jenis Karbon	Ukuran (mm)	Kegunaan	Bentuk
<i>Powdered Activated Carbon</i> (PAC)	<0.18	Digunakan pada fasa cair	
<i>Granular Activated Carbon</i> (GAC)	0.2-5	Digunakan pada fasa cair dan gas	
<i>Extruded Activated Carbon</i> (EAC)	0.8-5	Digunakan pada fasa gas	

2.2.2 Pembuatan Karbon Aktif

Pembuatan karbon aktif dilakukan melalui tiga tahap yaitu, pemilihan bahan, karbonisasi, dan aktivasi. Pemilihan bahan baku perlu dilakukan untuk mengetahui jenis karbon yang akan dibuat. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam bahan yang mengandung karbon. Bahan baku karbon aktif dapat diperoleh dari kayu lunak, kayu keras, lignin, kulit kacang, batu bara, dan lain – lain. Bahan baku yang dijadikan karbon aktif harus memenuhi beberapa kriteria, yaitu unsur anorganik yang rendah, mudah didapat, memiliki derajat volatilitas yang tidak terlalu tinggi, murah, memiliki daya tahan yang baik, dan mudah untuk diaktivasi. Bahan baku yang telah dipilih selanjutnya akan dikarbonisasi (Manocha, 2003).

Karbonisasi adalah proses penghilangan bahan yang mudah menguap dari karbon yang dilakukan dengan memanaskannya sampai suhu tertentu dengan jumlah oksigen yang terbatas. Material yang tertinggal adalah material arang dengan pori-pori yang halus. Pada saat karbonisasi terjadi beberapa tahap. Tahap pertama yaitu penghilangan air. Tahap kedua yaitu penguapan selulosa. Tahap selanjutnya yaitu penguapan lignin. Tahap terakhir yaitu pemurnian karbon. Air, selulosa dan lignin menguap pada suhu 400 °C, sedangkan pemurnian karbon rata-rata terjadi pada suhu 500-800 °C (Marsh, 2006).

Aktivasi adalah proses membuka, mengembangkan, dan memperbesar ukuran pori-pori melalui proses kimia dan fisika. Aktivasi bertujuan untuk memperbesar nilai absorpsi dari karbon aktif. Berikut proses aktivasi dibedakan menjadi dua yaitu (Manocah, 2003):

a. Aktivasi kimia

Aktivasi kimia dilakukan dengan cara, bahan dicampur dengan larutan kimia yang berfungsi sebagai agen aktivasi. Larutan kimia yang dipakai biasanya berupa garam dari logam alkali dan alkali tanah serta zat asam seperti KOH, NaOH, ZnCl₂, K₂CO₃, H₃PO₄. Agen aktivasi akan mengoksidasi karbon dan merusak bagian dalam karbon sehingga akan terbentuk pori-pori dan meningkatkan daya adsorpsi. Selain itu, agen aktivasi akan menghambat pembentukan tar dan mengurangi pembentukan asam asetat, metanol, dan lain-lain. Terbentuk pori – pori baru pada karbon karena proses pengikisan oleh agen aktivasi.

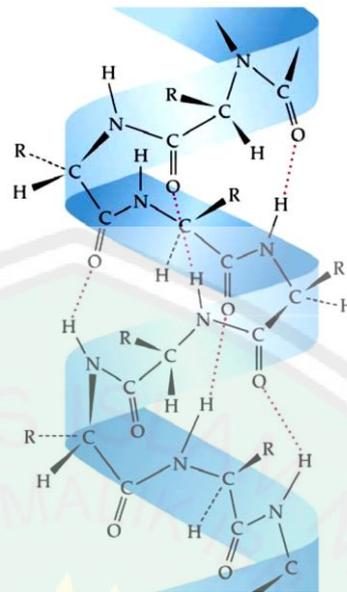
b. Aktivasi fisika

Aktivasi fisika dilakukan dengan menggunakan energi panas. Panas yang diberikan dapat memperbaiki pori – pori karbon. Panas yang diberikan akan menghilangkan zat – zat pengotor sehingga akan memperbesar ukuran pori – pori dan meningkatkan daya serap. Kekurangan dari aktivasi ini yaitu, sering adanya kelebihan oksidasi sehingga menurunkan daya serapnya.

2.3 Keratin

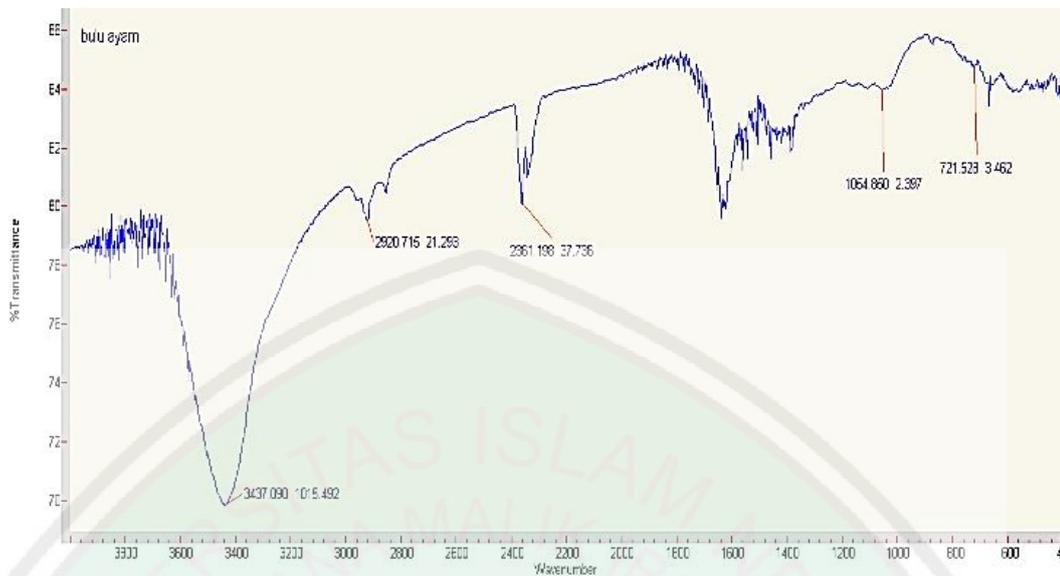
Keratin adalah produk pengerasan jaringan epidermal dari tubuh yang mengandung protein fibrous yang kaya akan sulfur. Keratin dapat kita peroleh dari wol, sisik ikan, tanduk binatang bulu unggas dan jaringan pengeras lainnya. Kandungan keratin dalam tepung bulu ayam berkisar antara 85-90 % dari kandungan proteinnya. Protein keratin mengandung 14 % sistin disulfida sebagai jembatan antar molekul. Kandungan sistin pada keratin berkisar antara 11-12 % (Farida, 2013).

Keratin tidak larut dalam eter, alkohol, pemanasan alkali, kelenjar saluran pencernaan, dan kelenjar pankreas, tetapi perlahan-lahan larut dalam air yang dipanaskan pada suhu 150° C. Hal tersebut terjadi, karena tepung bulu mengandung ikatan sistin disulfida, ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik molekul keratin. Ikatan sulfur dari sistin pada bulu harus dipecahkan supaya bulu dapat dicerna. Keratin dapat dipecah menjadi butiran-butiran melalui reaksi kimia dan enzim (Farida, 2013).



Gambar 2.2 Struktur α Heliks Keratin (Senoz dalam Farida, 2013)

Tiap molekul protein dalam keratin mempunyai bentuk spiral, yang disebut spiral- α -kanan. Kanan menunjukkan arah putaran dalam spiral itu. Tiap putaran spiral mengandung 3,6 residu asam amino. Jarak dari satu kumparan ke kumparan berikutnya adalah 5,4 Å. Bentuk spiral ini tidak berubah terutama berkat ikatan hidrogen antara satu gugus amida-karbonil dan suatu NH yang jaraknya 3,6 satuan asam amino. Bentuk spiral ini menghasilkan produk yang kuat, lunak, dan bersifat serat (Farida, 2013).



Gambar 2.3 FTIR Karbon Bulu Unggas (Farida, 2013)

Bulu unggas di karbonisasi dengan metode pirolisis. Karbonisasi dilakukan dengan 2 tahap. Pertama bulu unggas di karbonisasi pada suhu 215 °C dan ditahan selama 15 jam. Kenaikan suhu 3 °C/menit dengan keadaan tanpa kontak dengan oksigen. Tahap kedua dipanaskan pada suhu 450 °C dan ditahan selama 1 jam dengan kenaikan suhu 3 °C/menit. Uji FTIR dari sampel yang telah dikarbonisasi menunjukkan bahwa pada sampel terbentuk senyawa keratin. Puncak *absorpsi* terbentuk pada pergeseran raman 3437 /cm (N-H), 2920 /cm (C-H), 2361 /cm (C=N), 1054 /cm (C-O), dan 721 /cm (CH₂) (Farida, 2013).

Serapan N-H muncul pada puncak 3437/cm. dan terbentuk serapan CH₂ pada puncak 721/cm. Ikatan N-H yang terbentuk menunjukkan adanya ikatan amida A. Ikatan CH₂ yang terbentuk menandakan adanya ikatan amida I (Ramakrishnan, 2018). Hasil FTIR sampel juga menunjukkan adanya vibrasi C-H pada puncak 2920/cm. Hal tersebut menunjukkan terbentuknya ikatan amida A (Liebeck, 2017). Ikatan amida yang terbentuk menunjukkan bahwa struktur yang terbentuk adalah

struktur keratin. Keratin terdiri dari pita α -Heliks, β -Sheet, β -turn dan bentuk gulungan lain pada daerah amida (Kakkar, 2014).

2.4 Komponen Tambahan Anoda Baterai

Komposisi bahan aktif yang memiliki fraksi volume besar pada baterai, akan memperbesar kekuatan baterai. Oleh karena itu, setiap komponen selain dari material aktif, seperti binder, elektroda (Cu-foil) dan aditif konduktif harus dikurangi sebanyak mungkin (Sari, 2015).

2.4.1 *Copper Foil* (Cu – Foil)

Copper foil (Cu – Foil) adalah lembaran berwarna kuning keemasan yang digunakan sebagai tempat menempelnya material aktif anoda baterai ion lithium. Cu-foil memiliki densitas 0.54 g/m^2 . Lembaran Cu-Foil digunakan sebagai substrat anoda karena memiliki sifat yang lebih baik seperti (Sari, 2015):

1. Konduktivitas listriknya tinggi dan memiliki resistivitas yang kecil
2. Kekuatan mekanik yang dimiliki cukup bagus sehingga dapat menghindari hubungan pendek yang disebabkan oleh pertumbuhan dendrit
3. Cu memiliki daya lekat yang kuat terhadap material anoda.

2.4.2 *Carbon Black Super P*

Super p sering digunakan sebagai bahan tambahan pada elektroda baterai ion Li/Na, karena dapat meningkatkan konduktivitas elektroda. Karbon super p adalah karbon yang diproduksi dari hasil oksidasi bahan petrokimia. Super p memiliki luas permukaan yang besar dan memiliki konduktivitas listrik yang tinggi. Super p memiliki derajat kristalinitas dan grafitisasi yang rendah. Hasil XRD

menunjukkan super p muncul pada 2θ 25,3° dan 42,8° dengan bidang kisi (002) dan (100) (Peng, 2017).

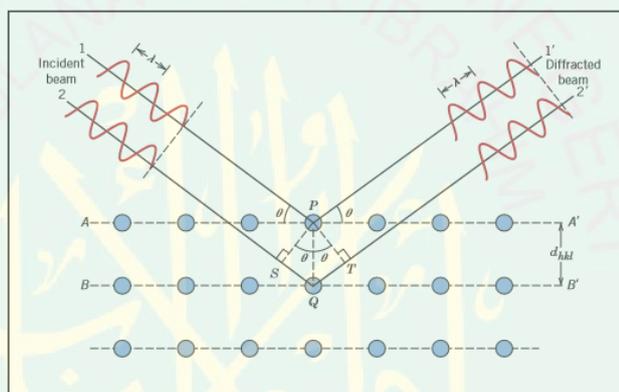
2.4.3 PVDF (*poly vinylidene fluoride*)

Binder adalah bahan campuran yang digunakan untuk mempertahankan bentuk elektroda. Binder memiliki titik leleh yang tinggi. Struktur komposit dari material aktif dan binder harus stabil di dalam elektrolit, bahkan di suhu tinggi. Kapasitas baterai akan mengecil, jika area binder yang mengembang dalam elektrolit melebihi batas ambang. Hal tersebut menyebabkan hilangnya kontak listrik antara material aktif dan anoda. Kelemahan dari penggunaan binder yaitu memungkinkan material aktif tertutup binder. Binder harus dibuat tipis sehingga ion lithium dapat berdifusi dengan baik. PVDF merupakan salah satu bahan yang sering digunakan sebagai binder (Sari, 2015).

PVDF memiliki properti yang baik. PVDF tidak tereduksi pada potensial rendah (5 Mv vs Li/Li⁺) atau teroksidasi pada potensial tinggi (5 V vs Li/ Li⁺). Karakteristik penting dari PVDF adalah kristalinitasnya. PVDF memiliki beberapa bentuk kristal. XRD menunjukkan bahwa sekitar 50% PVDF memiliki struktur amorf. PVDF larut dalam pelarut DMAC. DMAC adalah pelarut industri yang kuat dan serbaguna. Sifat yang dimiliki yaitu, memiliki kelarutan terhadap bahan organik dan anorganik yang tinggi, titik didih tinggi, titik beku yang rendah dan stabilitas yang baik. DMAC tidak reaktif dalam reaksi kimia (Sari, 2015).

2.5 XRD

Sinar-X adalah bentuk radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi dan panjang gelombang pendek (panjang gelombang pada urutan jarak atom untuk padatan). Ketika seberkas sinar-x dikenakan pada bahan padat, sebagian sinar disebar ke semua arah oleh elektron pada setiap atom atau ion yang dilewati sinar. Hasil dari penangkapan sinar berupa puncak – puncak difraktogram. Setiap puncak mewakili unsur atau senyawa tertentu (Callister, 2014).



Gambar 2.4 Difraksi Sinar X (Callister, 2014)

Prinsip kerja XRD ditunjukkan pada gambar 2.4. Dua bidang sejajar atom A-A dan B-B yang memiliki indeks Miller h , k , dan l yang sama dan dipisahkan oleh jarak antar (d_{hkl}). Asumsikan bahwa 2 gelombang sinar x paralel, monokromatik, dan koheren mengenai kedua bidang pada sudut θ . Sinar yang datang diberi label 1 dan 2. Gelombang dipantulkan oleh atom P dan Q pada sudut θ . Maka nilai difraksi bernilai seperti berikut (Callister, 2014):

$$n\lambda = \overline{SQ} + \overline{QT} \quad (2.1)$$

$$n\lambda = d_{hkl} \sin \theta + d_{hkl} \sin \theta \quad (2.2)$$

maka,

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (2.3)$$

Persamaan 2.3 dikenal sebagai hukum Bragg. n adalah urutan refleksi, bisa berupa bilangan bulat (1, 2, 3, ...) yang konsisten dengan $\sin \theta$. Persamaan tersebut memberikan gambaran sederhana tentang panjang gelombang x-ray dan jarak interatomik pada sudut balok yang terdifraksi. Interferensi akan menjadi tidak konstruktif, jika hukum Bragg tidak terpenuhi, maka akan dihasilkan sinar difraksi dengan intensitas sangat rendah (Callister, 2014).

Hasil XRD dapat digunakan untuk menghitung tinggi lapisan karbon aktif menggunakan persamaan 2.4 dan lebar lapisan dihitung menggunakan persamaan 2.5. Besarnya nilai K_a dan K_c bergantung pada bidang pantul (Junior, 2017).

$$L_c = \frac{k_c \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2.4)$$

$$L_a = \frac{k_a \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2.5)$$

2.6 SEM

SEM (*Scanning Elektron Microscope*) digunakan untuk mendeteksi permukaan, mendeteksi struktur kimia dan pertumbuhan butir. Prinsip kerja SEM (*Scanning Elektron Microscope*) adalah sebagai berikut, pertama elektron ditembakkan dari penembak dengan energi tertentu. Energi dapat diatur dengan mengatur arus listrik ke filamen sehingga terjadi pelepasan elektron. Tahap kedua yaitu pemfokusan sinar laser menggunakan perangkat demagnetisasi yang terdiri dari lensa – lensa elektromagnetik. Tahap ketiga yaitu, pembentukan gambar (Argast, 2004).

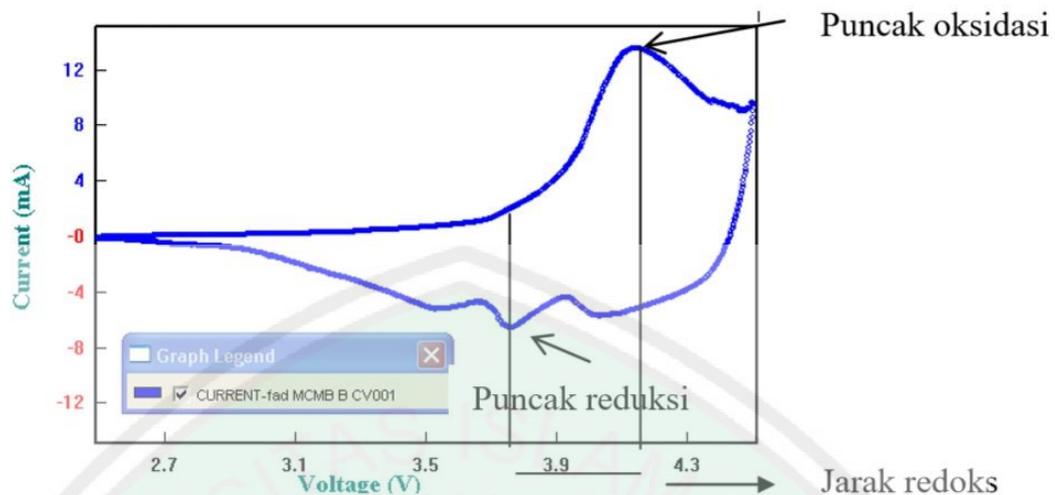
Pembentukan gambar menggunakan prinsip *scanning* elektron yang diarahkan ke objek. Hasil interaksi berkas elektron dengan sampel menghasilkan

Secondary Electron (SE) dan elektron *Backscattered (BSc)*. Berkas diterima oleh detektor SE/BSc, kemudian diubah menjadi sinyal. Data sinyal diperkuat oleh video amplifier, kemudian disinkronkan oleh *scanning circuit*, maka terbentuklah gambar pada Tabung Sinar Katoda (CRT) (Argast, 2004).

2.7 Voltametri Siklik

Voltametri siklik merupakan teknik pengukuran arus selama penyapuan potensial. Pengukuran dilakukan dari potensial rendah ke potensial tinggi dan kembali lagi ke potensial awal. Arus katodik dan anodik dapat terukur dari penyapuan tersebut. Arus katodik adalah arus yang digunakan pada saat penyapuan dari potensial yang paling besar menuju potensial yang paling kecil dan arus anodik adalah sebaliknya yaitu penyapuan dari potensial yang paling kecil menuju potensial yang paling besar (Agustin, 2017).

Pengukuran menggunakan voltarimetri siklik menghasilkan data berupa voltamogram. Voltamogram siklik diperoleh dengan mengukur arus pada elektroda kerja selama scan potensial. Arus dapat dianggap sebagai respon sinyal terhadap potensial eksitasi. Voltamogram yang dihasilkan merupakan kurva antara arus dan potensial (Agustin, 2017).



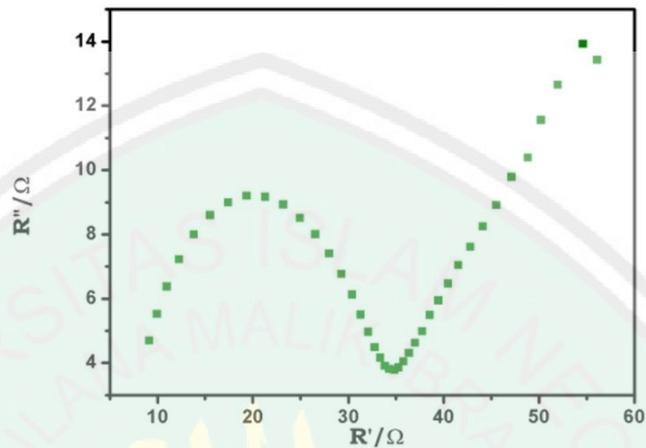
Gambar 2.5 Voltamogram Siklik Reaksi Oksidasi dan Reduksi (Sari, 2015)

Gambar 2.5 menjelaskan bahwa, terdapat puncak dengan arah ke atas yang menunjukkan proses oksidasi yang disebut sebagai puncak anodik dan puncak dengan arah ke bawah menunjukkan proses reduksi sebagai puncak katodik. Proses oksidasi terjadi pada saat pengisian ion lithium bergerak dari katoda ke anoda. Proses reduksi terjadi pada saat pengosongan, ion lithium bergerak dari anoda menuju katoda. Proses Bergeraknya lithium dari anoda ke katoda atau sebaliknya dinamakan sebagai proses interkalasi dan deinterkalasi ion lithium (Nuroniayah, 2018).

2.8 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dilakukan untuk mengetahui salah satu performa elektrokimia dari baterai berupa nilai impedansi. Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) atau biasa disebut *impedance spectroscopy* diinisiasi pada tahun 1880 hingga 1900. Pada beberapa dekade terakhir, EIS juga digunakan untuk menguji sifat dan performa dari baterai

ion lithium berupa konduktivitas, sifat transfer muatan, sifat dari lapisan pasif dan lain sebagainya (Q Zhuang dalam Agustin, 2017).



Gambar 2.6 Plot Nyquist (Nuronyah, 2018)

Nyquist plot pada gambar 2.6 menunjukkan besarnya nilai hambatan pada sampel. R_e (Resistansi Elektronik) yang merupakan nilai terendah dari setengah lingkaran. R_{ct} (Resistansi *Charge Transfer*) merupakan diameter atau selisih antara nilai tertinggi dan terendah dari setengah lingkaran. Nilai tertinggi dari setengah lingkaran yaitu $R_{ct} + R_e$. R_{ct} yang telah diketahui dari plot digunakan untuk menghitung konduktivitas baterai dengan rumus (Subhan, 2011) :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.6)$$

$$R_{ct} = \rho \frac{l}{A} \quad (2.7)$$

$$\sigma = \frac{l}{R_{ct}A} \quad (2.8)$$

dimana :

σ = konduktivitas (S/cm).

A = luas anoda (cm²)

l = tebal anoda (mm).

R_{ct} = hambatan (ohm)

Nyquist plot linier menunjukkan nilai dari difusi ion. Difusi ion dapat dihitung dengan persamaan 2.9. R merupakan konstanta gas (8,314 J/mol K). T adalah suhu mutlak (300 °K). F adalah konstanta Faraday (96500 C/mol). A adalah luas penampang sampel (cm²). C merupakan konsentrasi ion lithium (4370 mol/m³). n merupakan jumlah elektron yang ditransfer setiap interkalasi ($n=1$) untuk grafit. σ_{ω} adalah konstanta Warburg ($\Omega\text{m}^2\text{s}^{-1/2}$). Nilai konstanta warburg dapat diketahui melalui grafik hubungan antara R_s (resistansi real) dengan $\omega^{-1/2}$ (Subhan, 2017).

$$D_{Li^+} = \frac{R^2 T^2}{2A^2 n^4 F^4 C^2 \sigma_w^2} \quad (2.9)$$

Nilai impedansi Warburg dapat dihitung dengan persamaan 2.10, namun karena difusi dihitung pada daerah linear saja maka nilai R_e dan R_{ct} dianggap nol, sehingga persamaan 2.10 diubah ke persamaan 2.11. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa σ_{ω} (impedansi Warburg) merupakan hubungan antara resistansi real dan $\omega^{-1/2}$ (frekuensi) (Subhan, 2017).

$$Z_{re} = R_e + R_{ct} + \sigma_{\omega} \omega^{-1/2} \quad (2.10)$$

$$Z_{re} = \sigma_{\omega} \omega^{-1/2} \quad (2.11)$$

2.9 Charge-Discharge (CD)

Uji pengisian dan pengosongan dilakukan untuk mengetahui efisiensi baterai. Nilai pengisian dalam ampere adalah sejumlah muatan yang diberikan pada baterai persatuan waktu. Pengosongan dalam ampere adalah sejumlah muatan yang digunakan kerangka luar (beban), yang diambil dari baterai. Nilai pengisian dan pengosongan ditentukan dengan membagi kapasitas baterai (Ah) dengan jam yang dibutuhkan untuk pengisian dan pengosongan baterai. Jika pengosongan baterai

sangat cepat (arus pengosongan tinggi), maka sejumlah energi yang digunakan untuk baterai menjadi berkurang sehingga kapasitas baterai menjadi lebih rendah. Hal ini dikarenakan kebutuhan suatu material/komponen untuk reaksi yang terjadi tidak mempunyai waktu yang cukup untuk bergerak keposisi seharusnya. Hanya sejumlah reaktan yang diubah kebentuk lain, sehingga energi yang tersedia menjadi berkurang. Jadi arus pengosongan yang digunakan harus sekecil mungkin, sehingga energi yang digunakan kecil dan kapasitas baterai menjadi lebih besar (Agustin, 2017).

Pengujian CD juga dilakukan untuk mengetahui nilai efisiensi *coulombic* dari baterai itu sendiri. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan (2.4) sebagai berikut (X. Han dalam Agustin, 2017):

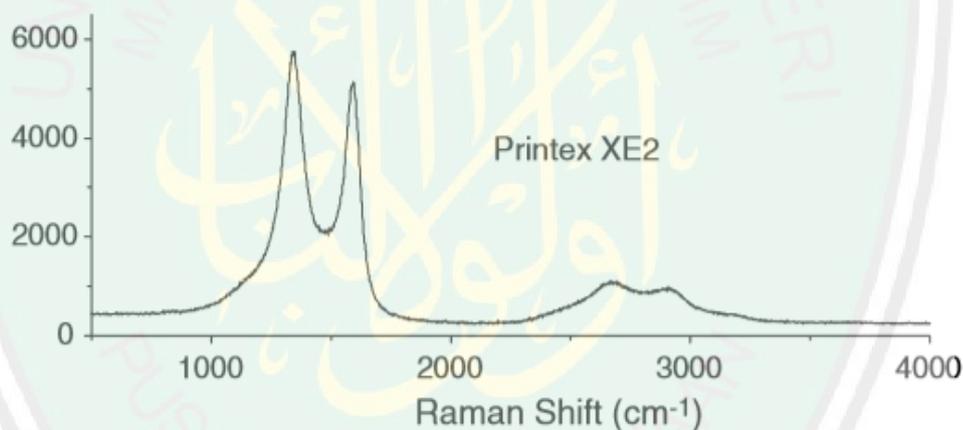
$$eff = \frac{C_{discharge}}{C_{charge}} \times 100\% \quad (2.12)$$

2.10 Spektroskopi Raman

Spektroskopi raman adalah teknik pengujian yang digunakan untuk menganalisis material karbon. Raman sangat sensitif pada struktur karbon yang berbeda. Ketepatan pita raman berlian, graphite dan karbon amorf bergantung pada ukuran kristal dan pergeseran pita pada daerah karbon yang berbeda. Pita atau puncak dari grafik raman diperoleh dari hamburan sinar laser yang diarahkan pada sample dan ditangkap oleh detektor (Junior, 2017).

Mikroskop raman diisi oleh mikroskop cahaya dan dipasangkan dengan 3 sinar laser spektroskopi raman yang berbeda. Mikroskop raman memiliki 4 perbesaran yang berbeda yaitu 5x, 20x, 50x, dan 100x. Mikroskop digunakan untuk

memfokuskan sinar laser pada sampel dan untuk menggumpulkan hamburan cahaya. Sinar laser ditembakkan pada sampel dengan diameter $1 \mu\text{m}$ dari fokus laser penuhnya. Sinar laser yang ditembakkan pada sampel akan dihamburkan. Hamburan Rayleigh dari sampel dihapus oleh *Notch filter* dan hamburan raman yang tersebar oleh kisi optik akan ditangkap oleh kamera CCD dengan sensitivitas 500-850 nm. Hamburan diolah dengan *software* GRAMS/32 (*Galactic, Levenberg-Marquardt algorithm*). Hasil hamburan yang sudah diolah, ditampilkan berupa grafik antara panjang gelombang dan intensitas cahaya seperti pada gambar 2.7 (Sadezky, 2005).



Gambar 2.7 Grafik Spektroskopi Raman (Sadezky, 2005)

2.11 BET

Surface area dan pori sampel dapat dikarakterisasi dengan BET. Uji BET dilakukan dengan isoterm absorpsi dan desorpsi gas N_2 . Data absorpsi dan desorpsi akan menghasilkan grafik hubungan antara tekanan relatif pada suhu $77,3 \text{ }^\circ\text{K}$ dengan volume gas adsorbat berupa nitrogen. Persamaan BET diperoleh dari data linier grafik antara tekanan relatif sebagai sumbu x dan $(1/(W(P_0/P)-1))$ sebagai

sumbu y. Persamaan linier BET dapat diketahui menggunakan persamaan berikut (Wati, 2015).

$$\frac{1}{w\left[\left(\frac{p_0}{p}\right)-1\right]} = \frac{c-1}{w_0c} \left(\frac{p_0}{p}\right) + \frac{1}{w_0c} \quad (2.13)$$

$$S_t = \frac{W_m N A_{cs}}{M} \quad (2.14)$$

Keterangan:

- P = tekanan keseimbangan
- P_o = Tekanan Saturasi
- W = jumlah gas terabsorpsi
- W_m = jumlah gas terabsorpsi pada satu lapis
- C = konstanta BET
- M = berat molekul adsorban
- N = bilangan avogadro
- S_t = luas permukaan total

Metode *Barret Joyner Halenda* (BJH) digunakan untuk menentukan distribusi pori. ukuran pori diketahui dengan melihat distribusi pori yang paling besar pada absorpsi dan desorpsi. Distribusi pori secara matematis ditulis sebagai dV_p/dr_p atau dA_p/dr_p sebagai fungsi rp. V_p adalah Volume pori, rp adalah jari – jari pori, dan A_p adalah luas permukaan dinding pori (Wati, 2015).

2.12 Kajian Pustaka

Karbon merupakan senyawa yang berpotensi digunakan sebagai bahan anoda baterai ion lithium, karena memiliki kinerja yang bagus, ramah lingkungan dan murah. Grafit merupakan karbon yang sering digunakan sebagai anoda baterai ion lithium. Kelemahan grafit adalah bahan hasil tambang yang lama kelamaan akan habis. Bahan karbon alternatif yang digunakan sebagai anoda baterai adalah

biomassa. Cara meningkatkan kinerja anoda dari karbon biomassa adalah dengan melakukan aktivasi karbon secara kimia atau fisika.

Anoda baterai ion lithium dapat dibuat dari cangkang biji kopi. Karbon aktif dibuat dengan aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Aktivasi kimia dilakukan dengan KOH dan $ZnCl_2$ dengan perbandingan 1:5. Aktivasi fisika dilakukan pada suhu 800 dan 900 °C. *Specific* luas permukaan dan ukuran pori pada karbon aktivasi KOH memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada karbon aktivasi $ZnCl_2$ pada perlakuan suhu yang sama. Perlakuan suhu menurunkan nilai luas permukaan dan ukuran pori – pori pada karbon. Kapasitas meningkat setelah diaktivasi KOH pada suhu 900 °C (Hwang, 2006).

Bahan baku karbon memiliki respon yang berbeda terhadap perlakuan aktivasi. Metode aktivasi pembuatan karbon cangkang biji kopi dilakukan pada karbon batok kelapa. Hasil yang diperoleh yaitu ukuran luas permukaan dan pori – pori meningkat saat suhu aktivasi diperbesar pada semua perlakuan kimia. Aktivasi karbon dengan KOH meningkatkan ukuran luas permukaan dan pori – pori. Kapasitas terbesar 1714 mAh/g pada aktivasi KOH 900 °C (Hwang, 2008).

Selain sebagai baterai biomassa juga berpotensi digunakan sebagai anoda superkapasitor. Pembuatan nanopori karbon dari batok kelapa dilakukan dengan menggunakan metode pirolisis dengan menggunakan larutan NaOH, selanjutnya nanopori karbon ini dianalisis menggunakan BET. Dari analisis BET menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki ukuran pori antara 3,08 sampai 3,80 nm dengan luas permukaan sebesar 414 m²/g. Nilai kapasitansi yang diperoleh sebesar 10 F/g (Wati, 2015).

Karbon aktif selain terbuat dari tanaman juga dapat dibuat dari rambut manusia. Karbon diaktivasi dengan KOH 1:2 dan diaktivasi fisika pada suhu 800 °C ditahan selama 2 jam. Hasil raman menunjukkan derajat grafitisasinya cukup besar yaitu 0,9. Luas permukaan yang dihasilkan yaitu 1617 m²/g. Hasil TEM menunjukkan bahwa banyak ditemukan pori pada daerah mesopori. Kapasitas yang dihasilkan yaitu 820 mAh/g (Saravanan, 2015).

Bulu ayam dapat digunakan sebaagai anoda superkapasitor. Karbon bulu ayam dibuat dengan variasi temperatur (200, 400, 600, dan 800 °C), variasi rasio KOH . Pada karbon aktivasi suhu 600 °C banyak ditemukan mikropori. Anoda terbaik di dapatkan pada karbon dengan aktivasi suhu 800 dan rasio KOH 5,5. kapasitas yang dihasilkan yaitu 260 F/g dengan retensi 98% seetelah 10.000 siklus penggunaan (Zhao, 2015).

Aktivasi fisika tanpa aktivasi kimia juga memiliki pengaruh yang cukup signifikan. Karbon aktif *sisal fiber* diaktivasi menggunakan suhu 77 °K. Luas permukaan dan Ukuran pori - pori meningkat setelah diaktivasi. Kapasitas anoda dari karbon yang teraktivasi lebih besar (646 mAh/g) dari karbon tanpa aktivasi (492 mAh/g) (Yu, 2015).

Biomasa lain yang digunakan sebagai karbon yaitu sabut kelapa. Karbon sabut kelapa diaktivasi dengan KOH 1:2. Karbon juga diaktivasi dengan varasi suhu 800, 850, dan 900 °C dan ditahan selama 2 jam. Hasil spektroskopi raman menunjukkan bahwa derajat grafitisasi yang terbaik pada suhu 850 °C (0,841). Kapasitas terbesar pada suhu 850 °C (2055 mAh/g). Hal tersebut menandakan

bahwa aktivasi memperbaiki stuktur kristal karbon, sehingga didapatkan anoda dengan kineja yang baik (Mullaivananathan, 2017).

2.13 Kajian Integrasi Islam

Keratin merupakan senyawa kompleks yang dapat kita temukan pada jaringan epitel. Keratin banyak terkandung pada tanduk kambing, buku ayam, wol domba, sisik ikan dan lain – lain. Kambing, ayam, dan domba merupakan binatang ternak. Binatang ternak merupakan binatang yang sengaja dipelihara untuk diambil manfaatnya, yaitu diambil dagingnya untuk dikonsumsi atau diambil sebagai bahan industri. Allah telah berfirman dalam Al Qur'an surat Yassin (36):71-71,

أَوَلَمْ يَرَوْا أَنَّا خَلَقْنَا لَهُمْ مِمَّا عَمِلَتْ أَيْدِينَا أَنْعَمًا فَهُمْ لَهَا مَلَائِكَةٌ [71] وَذَلَّلْنَاهَا لَهُمْ

فَمِنْهَا رَكُوبُهُمْ وَ مِنْهَا يَأْكُلُونَ [72] وَلَهُمْ فِيهَا مَنَافِعُ وَمَشَارِبٌ صَلَّى أَفَلَا يَشْكُرُونَ [73]

“Dan tidakkah mereka melihat bahwasannya kami telah menciptakan untuk mereka (diantara apa – apa yang telah kami ciptakan) binatang – binatang ternak, lalu mereka menjadi pemiliknya?, Dan kami telah menundukkan binatang – binatang itu untuk mereka. Maka diantaranya ada yang menjadi tunggangan mereka dan ada yang mereka makan. Dan pada (binatang – binatang) itu mereka memperoleh banyak manfaat dan minuman. Tidakkah mereka bersyukur?” (Qs Yassin (36): 71-73).

Surat yasin tersebut memiliki makna bahwa Allah menciptakan (أَنْعَمًا) binatang ternak dan pada diri binatang – binatang itu mereka memperoleh banyak manfaat (وَلَهُمْ فِيهَا مَنَافِعُ). Hal tersebut menjelaskan bahwa allah menciptakan binatang ternak bagi manusia dengan berbagai manfaat. Salah satu binatang ternak yang dapat memiliki banyak manfaat yaitu ayam. Daging ayam dan telurnya dapat digunakan untuk bahan makanan. Bulunya dapat kita manfaatkan untuk membuat

bantal, kerajinan tangan dan dapat kita ambil zat keratinnya sebagai bahan anoda (Al-Mahalli, 2008).

Bulu ayam membutuhkan suatu perlakuan sehingga dapat menghasilkan anoda yang baik, seperti firman-Nya pada Qs Ar-Rad (13:17),

أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَالَتْ أَوْدِيَهُ بِقَدَرِهَا فَاحْتَمَلَ السَّيْلُ زَبَدًا رَابِيًا وَمِمَّا يُوقِدُونَ عَلَيْهِ فِي النَّارِ ابْتِغَاءَ حُلِيَّةٍ أَوْ مَتَعٍ زَبَدٌ مِثْلُهُ كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ الْحَقَّ وَالْبَاطِلَ فَأَمَّا الزَّبَدُ فَيَذْهَبُ جُفَاءً وَأَمَّا مَا يَنْفَعُ النَّاسَ فَيَمْكُتُ فِي الْأَرْضِ كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ {17}

“Allah telah menurunkan air (hujan) dari langit, maka mengalirlah air di lembah – lembah menurut ukurannya, maka arus itu membawa buih – buih yang mengambang. Dan dari apa (logam) yang mereka leburkan dalam api untuk membuat perhiasan atau alat – alat, ada (pula) buihnya seperti buih arus itu. Demikian Allah membuat perumpamaan (bagi) yang benar dan yang bathil. Adapun buih itu, akan hilang sebagai sesuatu yang tak ada harganya, adapun yang memberi manfaat kepada manusia, maka ia tetap dibumi. Demikian Allah membuat perumpamaan – perumpamaan.”

Suatu bahan akan memiliki nilai dan kegunaan yang lebih berharga jika diolah dengan baik. Hal tersebut dapat kita ambil contoh dari kalimat berikut (وَمِمَّا يُوقِدُونَ عَلَيْهِ فِي النَّارِ ابْتِغَاءَ حُلِيَّةٍ أَوْ مَتَعٍ) *“...dan dari apa (logam) yang mereka lebur dalam api untuk dijadikan perhiasan atau alat – alat...”*. Ayat tersebut menjelaskan bahwa dari bahan dasar logam yang diolah dengan cara meleburnya dalam api maka akan menghasilkan perhiasan yang mahal dan alat – alat yang berguna (Al-Mahalli, 2008). Hal tersebut juga berlaku pada pembuatan material anoda baterai ion lithium. Bulu ayam tanpa perlakuan hanya akan menghasilkan limbah, sehingga bulu ayam perlu diolah untuk mendapatkan manfaat yang lebih banyak. Pengolahan dilakukan dengan metode khusus sehingga menghasilkan barang yang diinginkan. Bulu ayam

sebagai bahan dasar diolah dengan cara dikarbonisasi dan diaktivasi, sehingga menghasilkan anoda baterai ion lithium.



BAB III METODELOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada April 2018 sampai Januari 2019, di laboratorium riset material UIN Malang, Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Universitas Gajah Mada Yogyakarta, Laboratorium Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh November, dan Laboratorium Baterai Lithium Indonesia Pusat Penelitian Fisika-LIPI Serpong, Tangerang Selatan.

3.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian eksperimen. Pembuatan karbon keratin dilakukan dengan metode pirolisis. Aktivasi karbon dilakukan dengan variasi suhu 750, 850 dan 950 °C. Sampel dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM, BET, dan Spektroskopi raman. Sampel dibuat anoda baterai dan dikarakterisasi menggunakan EIS, CV, dan CD. Analisa data dilakukan dengan membandingkan karakteristik baterai yang dihasilkan dengan karakteristik karbon keratin yang diaktivasi dengan variasi suhu.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel – variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu,

1. Variabel terikat, karakteristik Karbon keratin dan kinerja karbon keratin sebagai anoda baterai ion lithium.
2. Variabel bebas, pembuatan anoda baterai dengan karbon keratin.

3. Variabel kontrol, aktivasi karbon keratin dengan variasi suhu 750, 850 dan 950 °C.

3.4 Peralatan dan Bahan Penelitian

3.4.1 Peralatan Penelitian

- a) Aluminium foil
- b) *Beaker glass*
- c) Cawan petri
- d) Corong gelas
- e) Kertas saring
- f) Pipet tetes
- g) Saringan ukuran 150 mesh
- h) Mortal dan Alu
- i) Unit pirolisis
- j) Spatula
- k) Timbangan digital
- l) Oven
- m) Gelas ukur
- n) Lemari asap
- o) Ph Universal
- p) *Hot plate*
- q) *Magnetic Stirrer*
- r) *Doctor Blade*
- s) *Dry box*

- t) XRD (*X-Ray Diffraction*)
- u) BET (*Brunauer Emmett and Teller*)
- v) SEM (*Scanning Elektron Microscope*)
- w) CV (*Cyclic Voltammtery*)
- x) CD (*Pengisian Pengosongan*)
- y) EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*)

3.4.2 Bahan

- a) Super P
- b) *Acetone*
- c) Aquades
- d) Karbon bulu ayam
- e) *Casing* baterai (can dan cap)
- f) KOH
- g) HCl
- h) DMAC (N-N Dimethyl Acetamid)
- i) Elektrolit (LiPF_6)
- j) Katoda (*Lithium metal*)
- k) Separator (*PE/Polyethyllene*)
- l) Serbuk PVDF (*Polyvinylidene Fluoride*)
- m) *Spacer*
- n) *Wave spring*
- o) Gas N_2

3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap kegiatan yaitu karbonisasi bulu ayam, pembuatan aktivasi keratin menggunakan KOH 5 M, aktivasi fisika dengan variasi suhu, karakterisasi material, pembuatan slurry, pembuatan lembaran dan pengujian baterai.

3.5.1 Karbonisasi dan Aktivasi Karbon Bulu Ayam

- a) Limbah bulu ayam dibersihkan menggunakan air dan aquades.
- b) Bulu ayam dikeringkan dibawah sinar matahari selama \pm 48 jam.
- c) Limbah bulu ayam dikarbonisasi menggunakan unit pirolisis. Karbonisasi dilakukan dalam dua tahap, yaitu pada suhu 215 °C selama 15 jam. Tahap kedua pada suhu 450 °C selama 1 jam. Karbonisasi dilakukan dalam keadaan hampa udara dengan tekanan (4 – 5 pascal) dengan kenaikan suhu 3 °C/menit.
- d) Karbon bulu ayam kemudian dihaluskan dan diayak dengan ukuran ayakan 150 mesh.
- e) Sampel direndam dalam larutan toluena dengan perbandingan 50 gr sampel : 15 ml toluena : 45 ml aquades. Kemudian sampel disaring dan dikeringkan diudara terbuka (\pm 48 jam)
- f) Sampel dilarutkan dalam larutan KOH 5M dengan perbandingan 50 gr sampel : 100 ml larutan KOH 5M. Larutan didiamkan dalam *beaker glass* yang ditutup aluminuim foil selama 24 jam.
- g) Sampel disaring, kemudian dicuci menggunakan 1 M HCl dan aquades hingga pH sampel netral (6-7). Tujuan pencucian ini untuk membuang senyawa garam alkali.

- h) Sampel dikeringkan dalam oven dengan suhu 100 °C selama 2 jam.
- i) Sampel dimasukkan kedalam unit pirolisis.
- j) Unit pirolisis dialiri gas N₂ dengan kecepatan 50 ml/menit selama 30 menit.
- k) Sampel diaktivasi fisika dengan menggunakan unit pirolisis dengan variasi temperatur 750 °C, 850 °C, dan 950 °C selama 3 jam. Kecepatan kenaikan suhu 5 °C/menit.

3.5.2 Karakterisasi Material

- a) Sampel diuji menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk identifikasi struktur kristal sampel.
- b) Sampel diuji menggunakan *Scanning Elektron Microscope* (SEM) untuk mengetahui morfologi dan ukuran butir sampel.
- c) Sampel diuji menggunakan BET untuk mengetahui luas permukaan dan ukuran pori – pori sampel.
- d) Sampel diuji menggunakan Spektroskopi raman untuk mengetahui karakteristik grafit yang terbentuk pada sampel.

3.5.3 Pembuatan *Slurry*

- a) Menghitung bahan yang dibutuhkan untuk komposisi pencampuran sampel (80 %), PVDF (10 %), Super P (10 %).
- b) *Beaker glass* berisi larutan DMAC 2 ml dipanaskan pada temperatur 70 °C dan putaran sebesar 325 rpm selama 10 menit menggunakan *hot plate* dan *magnetic stirrer*.

- c) Serbuk PVDF 0,125 gr dicampurkan dalam larutan sedikit demi sedikit dan diaduk selama 10-15 menit.
- d) Super P 0,125 gr dimasukkan sedikit demi sedikit kedalam larutan. Ditambahkan DMAC jika larutan mengental. Larutan diaduk selama 10-15 menit.
- e) 1 gr sampel dimasukkan secara perlahan – lahan ke dalam larutan selama ± 1 jam di atas hot plate sampai terbentuk *slurry* yang diinginkan.

3.5.4 Pembuatan Lembaran

- a) Cu-foil diletakkan di atas doctor blade dan divakumkan. Kemudian Cu-foil dibersihkan dengan *acetone*.
- b) Ketebalan doctor blade diukur dengan pisau *doctor blade* sebesar 200 μm .
- c) *Slurry* dituangkan di atas Cu-foil sedikit demi sedikit dan *doctor blade* dijalankan dengan kecepatan 5 – 6 cm/menit sampai Cu-foil terlapisi oleh *slurry* secara sempurna.
- d) Lembaran anoda dikeringkan menggunakan *dry box* dengan temperatur sebesar 70 °C (± 1 jam).

3.5.5 Calendering dan Cutting Lembaran Anoda

- a) Lembaran dicetak dan dipotong dengan diameter 16 mm.
- b) Berat kosong dan berat isi anoda ukur menggunakan neraca digital.
- c) Ketebalan anoda diukur menggunakan mistar.

3.5.6 Assembly Baterai

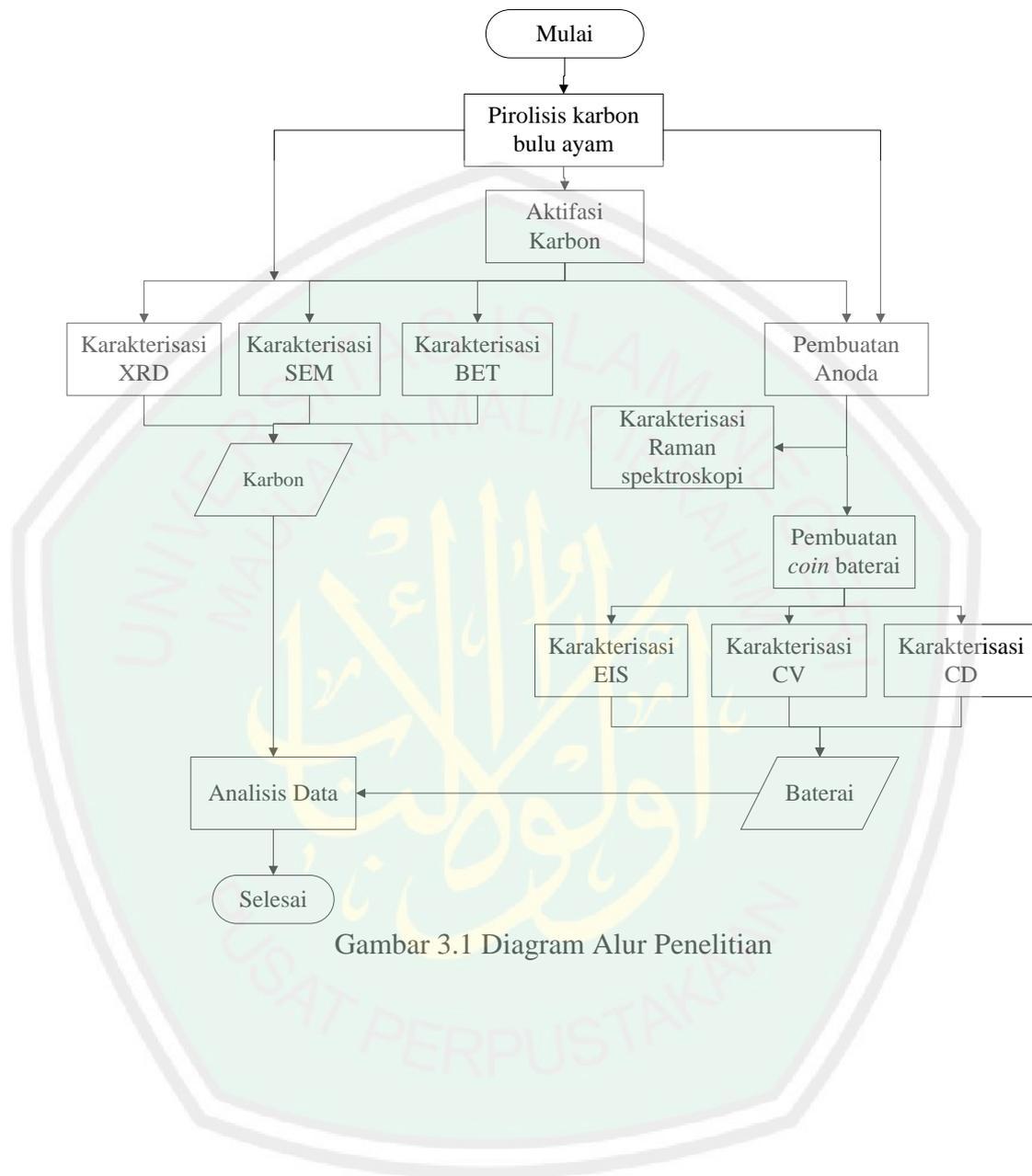
- a) Disiapkan alat dan bahan yang digunakan.
- b) Anoda diletakan diatas can, kemudian diletakkan separator diatas anoda.
- c) Elektrolit (LiPF_6) diteteskan ke seluruh permukaan separator (± 3 tetes).
Kemudian diletakkan *spacer* diatasnya.
- d) Katoda (*Lithium metal*) diletakan di atas *spacer*, Kemudian ditaruh *wave spring* di atas katoda, kemudian ditutup dengan penutup (*cap*).
- e) Tegangan baterai sebelum dirapatkan diukur menggunakan volmeter.
- f) Baterai dirapatkan menggunakan alat *crimping casing*, kemudian diukur tegangannya, jika tegangan baterai kurang dari 1 V, maka baterai harus dibongkar karena mengalami kortsleting.

3.5.7 Uji Baterai

Uji baterai dilakukan dengan 3 cara:

- a) Baterai diuji menggunakan *Cyclic voltammetry* untuk mengkonfirmasi adanya reaksi redoks dalam baterai ion litium.
- b) Baterai diuji menggunakan CD untuk mengetahui kapasitas dan efesiensi *coulumbic* dari baterai ion lithium.
- c) Baterai diuji menggunakan *Electrochemical impedance spectroscopy* untuk mengetahui konduktivitas dan koefisien difusi dalam baterai ion lithium.

3.6 Diagram Alur Penelitian



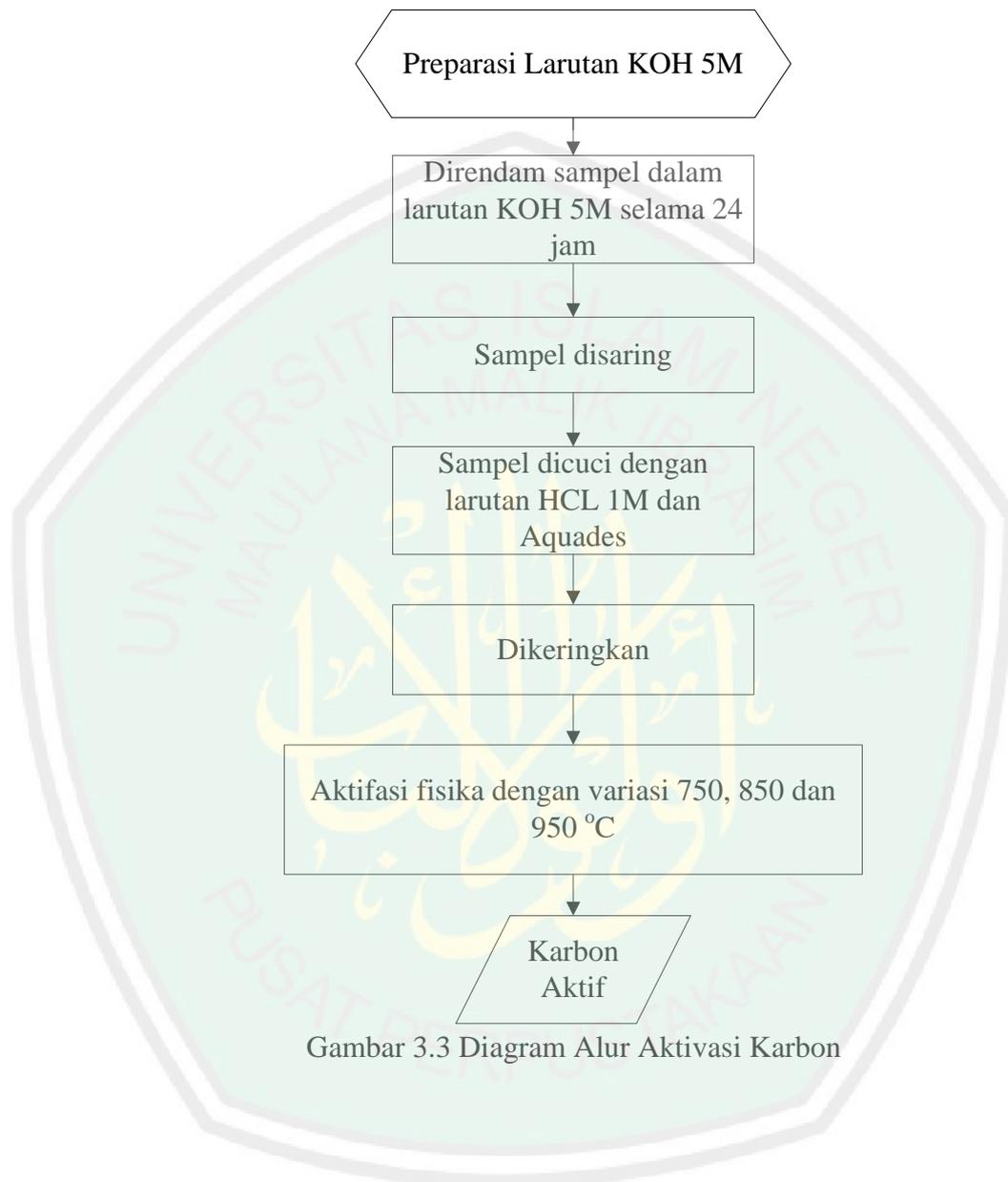
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.6.1 Proses Karbonisasi Bulu Ayam



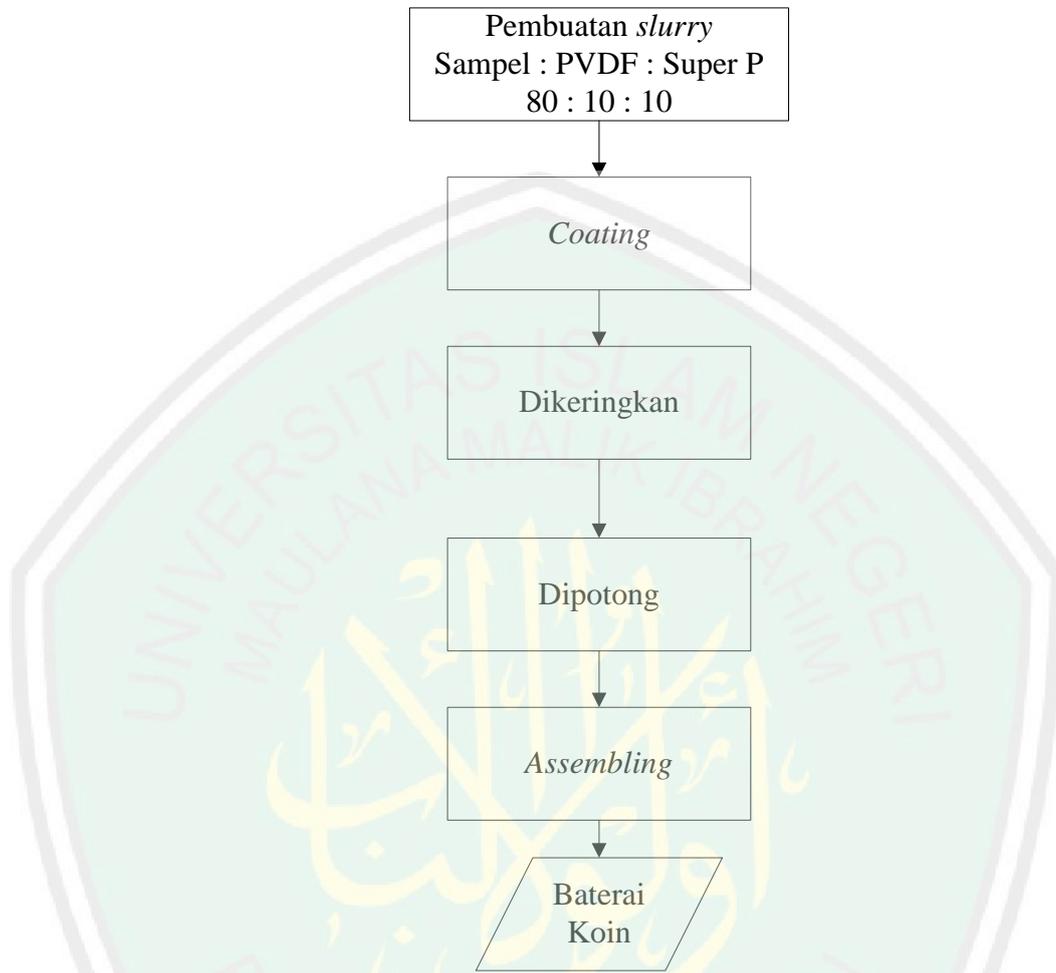
Gambar 3.2 Diagram Alur Karbonisasi Bulu Ayam

3.6.2 Diagram Alur Aktivasi Karbon

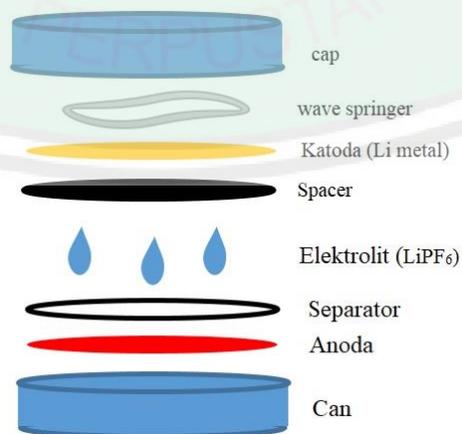


Gambar 3.3 Diagram Alur Aktivasi Karbon

3.6.3 Diagram Pembuatan Baterai



Gambar 3.4 Diagram Alur Pembuatan Baterai



Gambar 3.5 Susunan Baterai Koin

3.7 Pengambilan Data

3.7.1 Karakterisasi BET (*Brunauer Emmet and Teller*)

Uji BET menunjukkan ukuran luas permukaan dari sampel. Ukuran luas permukaan akan mempengaruhi sifat elektrik dari baterai.

Tabel 3.1 Data Pengujian BET

No.	Sampel	Luas permukaan (m ³ /gr)
1	Tanpa aktivasi	
2	Aktivasi 750 °C	
3	Aktivasi 850 °C	
4	Aktivasi 950 °C	

3.7.2 Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Uji SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan sampel. Data yang diperoleh dari uji SEM berupa gambar tampak melintang sampel, dari gambar tersebut bisa diketahui ukuran porositas, ukuran butir, dan persebaran pori.

3.7.3 Karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*)

Uji XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal sampel. Dta yang dihasilkan berupa diagram yang berisi berbagai informasi diantaranya yaitu, bentuk kristal, senyawa yang terbentuk, ukuran kristal, dan derajat kekristalan. Tinggi lapisan karbon aktif dan jarak antar lapisan karbon dapat dihitung dengan persamaan :

$$Lc = \frac{K\lambda}{B \cos \theta} \quad (3.1)$$

$$d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta} \quad (3.2)$$

Tabel 3.2 Ukuran Kristal Aktivasi Fisika

No.	Sampel	d (nm)	Lc (nm)	La (nm)
1	Tanpa aktivasi			
2	Aktivasi 750 °C			
3	Aktivasi 850 °C			
4	Aktivasi 950 °C			

3.7.4 Uji CV (*Cyclic Voltametry*)

Uji CV dilakukan untuk mengetahui reaksi reduksi dan oksidasi yang terjadi di dalam baterai. Data yang diperoleh berupa grafik yang menginformasikan data pada tabel 3.4.

Tabel 3.3 Hasil Pengujian CV

No.	Sampel	V _{oks} (V)	V _{red} (V)	I _{pc} (mAh)	V _{oks} - V _{red} (V)	Tgangan kerja (V)
1	Tanpa aktivasi					
2	Aktivasi 750 °C					
3	Aktivasi 850 °C					
4	Aktivasi 950 °C					

3.7.5 Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)

Uji EIS dilakukan untuk mengetahui sifat sifat elektrik baterai. Data yang diperoleh dari uji EIS adalah berupa cole-cole plot yang berisi informasi mengenai resistansi sampel, konduktivitas sampel, konstanta difusi, impedansi, dan rapat arus.

Pesamaan 3.3 digunakan untuk mencari nilai konduktivitas, dimana t adalah tebal anoda dan A adalah luas permukaan anoda:

$$\sigma = \frac{1}{R_{ct}} \frac{t}{A} \quad (3.3)$$

Nilai impedansi dihitung menggunakan persamaan 3.4. Z_{re} adalah impedansi total pada kurva niqit plot, R_e adalah resistansi dari elektrolit, R_{ct} adalah resistansi pengisian transfer dan $\omega^{-1/2}$ adalah frekuensi sudut rendah:

$$Z_{re} = R_e + R_{ct} + \sigma_w \omega^{-1/2} \quad (3.4)$$

Nilai rapat arus dicari menggunakan persamaan 3.5, dimana T adalah temperatur absolut (298,15 °K), n adalah bilangan perpindahan elektron per molekul pada saat terjadi interkalasi ion. Nilai bilangan pada grafit yaitu $n = 1$. R adalah ketetapan gas konstan (8.314 J/mol K):

$$t^0 = \frac{RT}{nFR_{ct}} \quad (3.5)$$

Konstanta difusi dicari menggunakan persamaan 3.6. F adalah konstanta Faraday (96500 C/mol) dan C adalah konsentrasi ion litium pada zat padat (4.37×10^{-3} mol/cm³). Data hasil perhitungan dimasukkan pada tabel:

$$D_{Li^+} = \frac{R^2 T^2}{2A^2 n^4 F^4 C^2 \sigma_w^2} \quad (3.6)$$

Tabel 3.4 Resistansi Sampel Uji

No.	Sampel	R_e (Ω)	R_s (Ω)	R_{ct} (Ω)
1	Tanpa aktivasi			
2	Aktivasi 750 °C			
3	Aktivasi 850 °C			
4	Aktivasi 950 °C			

Tabel 3.5 Nilai Impedansi Sampel

No.	Sampel	σ (S/cm)	σ_w ($\Omega m^2 S^{-1/2}$)	D (cm ² /s)
1	Tanpa aktivasi			
2	Aktivasi 750 °C			
3	Aktivasi 850 °C			
4	Aktivasi 950 °C			

3.7.6 Pengujian Pengisian dan Pengosongan (*Charge-Discharge*)

Uji CD dilakukan untuk mengetahui kapasitas baterai dan efisiensi baterai. hasilnya akan ditunjukkan pada data berupa grafik dan tabel.

Tabel 3.6 Kapasitas Baterai

No.	Sampel	C (mAh/gr)
1	Tanpa perlakuan	
2	Aktivasi 750 °C	
3	Aktivasi 850 °C	
4	Aktivasi 950 °C	

3.7.7 Pengujian Spektroskopi Raman

Uji spektroskopi raman dilakukan untuk mengetahui derajat grafitisasi dari sampel. Data yang dihasilkan yaitu berupa grafik hubungan antara raman shift dan intensitas.

Tabel 3.7 Struktur Grafitisasi Sampel Berdasarkan Karakterisasi Raman

Sampel	D		G		D/G
	Pergeseran Raman (/cm)	Intensitas	Pergeseran Raman (/cm)	Intensitas	
Tanpa aktivasi					
Aktivasi 750 °C					
Aktivasi 850 °C					
Aktivasi 950 °C					
Grafit					

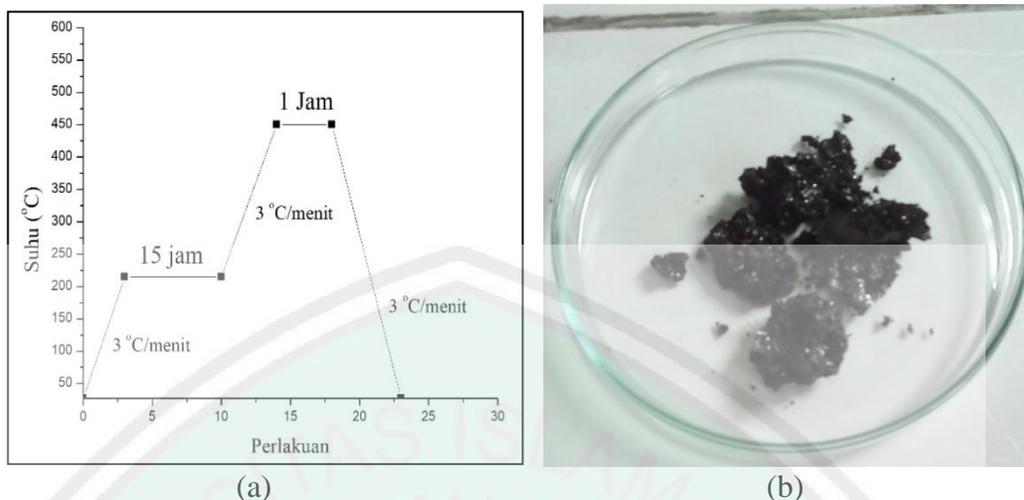
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1 Preparasi Karbon Bulu Ayam

Penelitian anoda baterai ion lithium dari karbon bulu ayam dimulai pada April 2018 sampai Januari 2019. Preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Riset Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Pembuatan dan karakterisasi sel baterai dilakukan di Laboratorium Baterai Pusat Penelitian Fisika (P2F) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Puspiptek, Serpong. Karakterisasi XRD dilakukan di laboratorium teknik material Institut Teknologi Sepuluh November.

Keratin dibuat dari bulu ayam yang dibersihkan dengan air mengalir dan aquades. Bulu ayam dikeringkan dibawah sinar matahari selama ± 48 jam. Bulu ayam dipirolisis pada suhu $215\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan *holding time* 15 jam, kemudian suhu dinaikan sampai $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam. Kecepatan kenaikan suhu yaitu $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Pemanasan dilakukan dalam keadaan hampa udara. Kurva kenaikan suhu ditampilkan pada gambar 4.1 a dan sampel yang sudah dipirolisis terlihat seperti pada gambar 4.1 b.



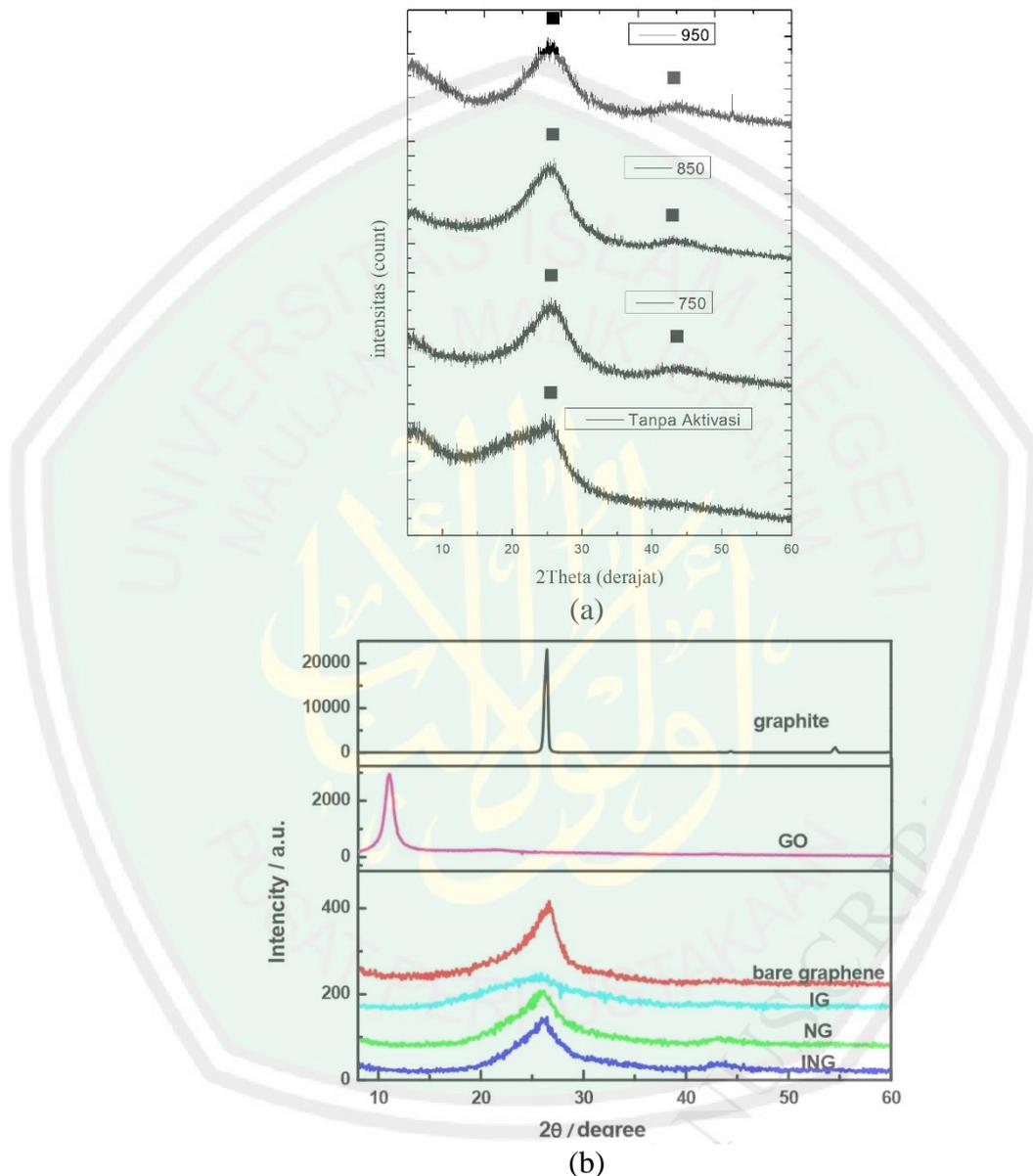
Gambar 4.1 Pirolisis Bulu Ayam, a) Diagram Perlakuan Suhu dan b) Hasil Pirolisis

Karbon bulu ayam dihaluskan dengan ukuran 150 mesh. Serbuk karbon direndam selama satu jam dalam larutan toluena untuk menghilangkan zat pengotornya. Serbuk disaring dan dikeringkan di udara terbuka selama ± 48 jam. Karbon diaktivasi kimia menggunakan larutan KOH 5M selama 24 jam. Karbon disaring dan dicuci dengan HCL 1M hingga pH serbuk netral (6 – 7), kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 100 °C selama 2 jam. Serbuk diaktivasi menggunakan variasi suhu 750, 850, dan 950 °C selama 3 jam dengan kenaikan suhu 5 °C/menit. Tungku pemanas dialiri gas N₂ dengan kecepatan 50 cm³/menit.

4.1.2 Karakterisasi XRD

X Ray Diffraction digunakan untuk menganalisis data struktur kristal dan fasa kristal yang terbentuk. Uji XRD dilakukan di Laboratorium Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh November. Gelombang yang digunakan bersumber dari Cu_K-alpha 1,54 Å dengan rentang pengukuran dari 5 (°2θ) sampai 60 (°2θ). Hasil pengujian XRD berupa kurva yang menunjukkan hubungan antara intensitas

terhadap sudut 2θ . Kurva XRD dari karbon dengan variasi suhu aktivasi dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 (a) Difraktogram Serbuk Karbon dan (b) *Graphene* (Zhan, 2015)

Pola XRD pada sampel membentuk senyawa karbon amorf yang memiliki struktur heksagonal dengan kisi $a=b \neq c$. Puncak tertinggi terbentuk pada bidang (002) dan (011). Posisi puncak ditunjukkan pada tabel 4.1. Senyawa karbon yang

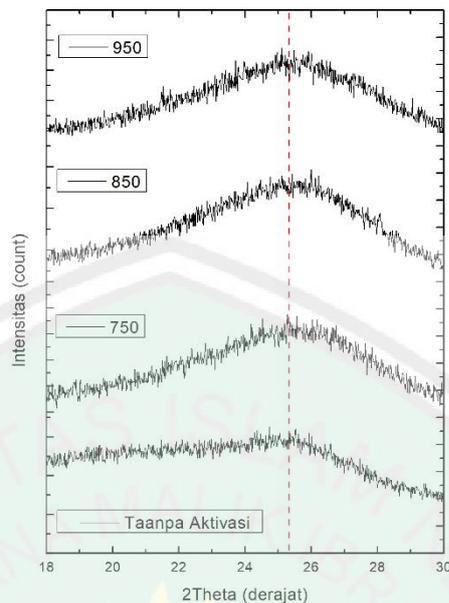
terbentuk memiliki struktur graphene. Hal tersebut dapat dilihat dari perbandingan pola XRD karbon dengan *graphene* pada gambar 4.1 b. *Graphene* memiliki posisi bidang (002) pada sudut 2θ antara $20-30^\circ$, sedangkan karbon pada gambar 4.1 a memiliki posisi antara $24-26^\circ$.

Tabel 4.1 Nilai FWHM dan Posisi Puncak Karbon

Sampel	FWHM (002) ($^\circ 2\theta$)	FWHM (011) ($^\circ 2\theta$)	Sudut 2θ bidang (002)	Sudut 2θ bidang (011)
Tanpa aktivasi	8,57	0	24,90	-
Aktivasi 750°C	6,93	6,36	25,50	45,11
Aktivasi 850°C	6,27	4,21	25,42	45,09
Aktivasi 950°C	6,93	4,66	25,52	45,50

Pola XRD sampel keratin mengalami perubahan setelah diaktivasi. Karbon tanpa aktivasi memiliki satu puncak difraksi, sedangkan karbon yang teraktivasi memiliki 2 puncak difraksi. Puncak karbon teraktivasi lebih tajam dibandingkan dengan karbon tanpa perlakuan. Hal tersebut menandakan bahwa karbon teraktivasi memiliki struktur kristal yang lebih baik. Karbon aktivasi suhu 850°C memiliki puncak yang paling tajam, karena memiliki nilai FWHM yang paling kecil pada semua bidang (tabel 4.1). Hal tersebut menandakan bahwa pada suhu 850°C terjadi penyusunan kristal yang lebih baik.

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa puncak difraksi karbon mengalami pergeseran. Puncak bergeser ke arah kanan atau semakin membesar. Hal tersebut dapat diamati pada gambar 4.3. Pergeseran puncak terjadi karena adanya cacat pada sampel. Cacat kristal dapat terjadi karena *vacancy* akibat penguapan selama proses pemanasan (Hariyanto, 2012). Pergeseran puncak terbesar yaitu pada karbon aktivasi suhu 950°C .

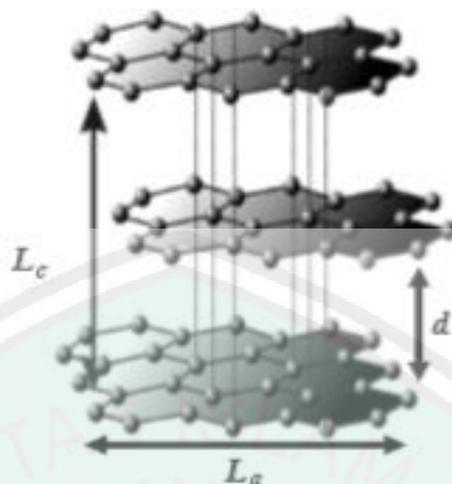


Gambar 4.3 Pergeseran Puncak Difraksi Bidang (002)

Pergeseran puncak difraksi berpengaruh terhadap besarnya jarak antar bidang (d). Nilai d berbanding terbalik dengan nilai $\sin \theta$ seperti pada persamaan 4.1 (Awaluddin, 2015). Nilai d dapat dilihat pada tabel 4.2.

$$d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta} \quad (4.1)$$

Hasil dari difraksi dapat digunakan untuk mengetahui ukuran kristalit dari sampel. Kristalit karbon tersusun atas lapisan heksagonal yang berikatan secara kovalen. Susunan kisi – kisi heksagonal tampak seperti lembaran - lembaran yang saling bertumpuk dan memiliki jarak sebesar d (gambar 4.4) (Achmad, 2011). Tinggi (L_c) dan lebar (L_a) kristalit ditunjukkan pada tabel 4.2.



Gambar 4.4 Struktur Kristal Karbon Aktif (Achmad, 2011)

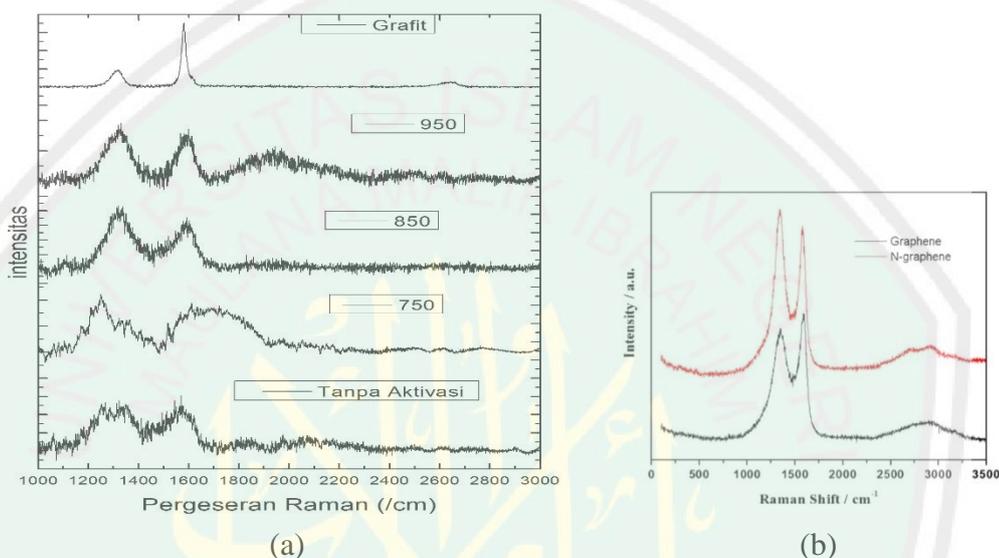
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Struktur Kristal Sampel Keratin dengan Varasi Suhu Aktivasi

Sampel	d (nm)	La (nm)	Lc (nm)
Tanpa aktivasi	0,358	0	0,94
Aktivasi 750 °C	0,348	2,66	1,18
Aktivasi 850 °C	0,351	4,18	1,28
Aktivasi 950 °C	0,347	3,66	1,18

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa ukuran La dan Lc mengalami peningkatan setelah diaktivasi. Suhu mempengaruhi pertumbuhan dan penyusunan struktur kristal. Ukuran kristalit terbesar pada karbon aktivasi suhu 850 °C. Hal tersebut menandakan bahwa pada suhu 850 °C terjadi pertumbuhan kristal yang cukup besar. Nilai d mengalami penurunan setelah proses aktivasi. Ukuran d terkecil yaitu pada karbon aktivasi suhu 950 °C. Hal tersebut terjadi karena kenaikan suhu menyebabkan penguapan zat volatil pada karbon semakin besar.

4.1.3 Karakterisasi Spektroskopi Raman

Karakteristik struktur karbon dianalisis menggunakan Spektroskopi raman (HORIBA). Gambar 4.5 menunjukkan hasil dari spektroskopi raman. Raman pada karbon terdiri dari dua puncak yaitu puncak D (disorder) dan puncak G (grafit).



Gambar 4.5 Spektroskopi Raman (a) Lembaran Anoda Keratin dan (b) *Graphene* (Geng, 2011)

Tabel 4.3 Struktur Garfisisasi Sampel Berdasarkan Karakteristik Raman

Sampel	D		G		D/G
	Pergeseran Raman (/cm)	Intensitas	Pergeseran Raman (/cm)	Intensitas	
Tanpa aktivasi	1307,76	85,52	1553,46	74,371	1,15
Aktivasi 750 °C	1250,41	223,79	1664,01	136,32	1,64
Aktivasi 850 °C	1326,12	66,15	1597,27	48,97	1,35
Aktivasi 950 °C	1329,79	148,73	1593,78	113,99	1,30
Grafit	1327,96	434,66	1579,80	1743,96	0,25

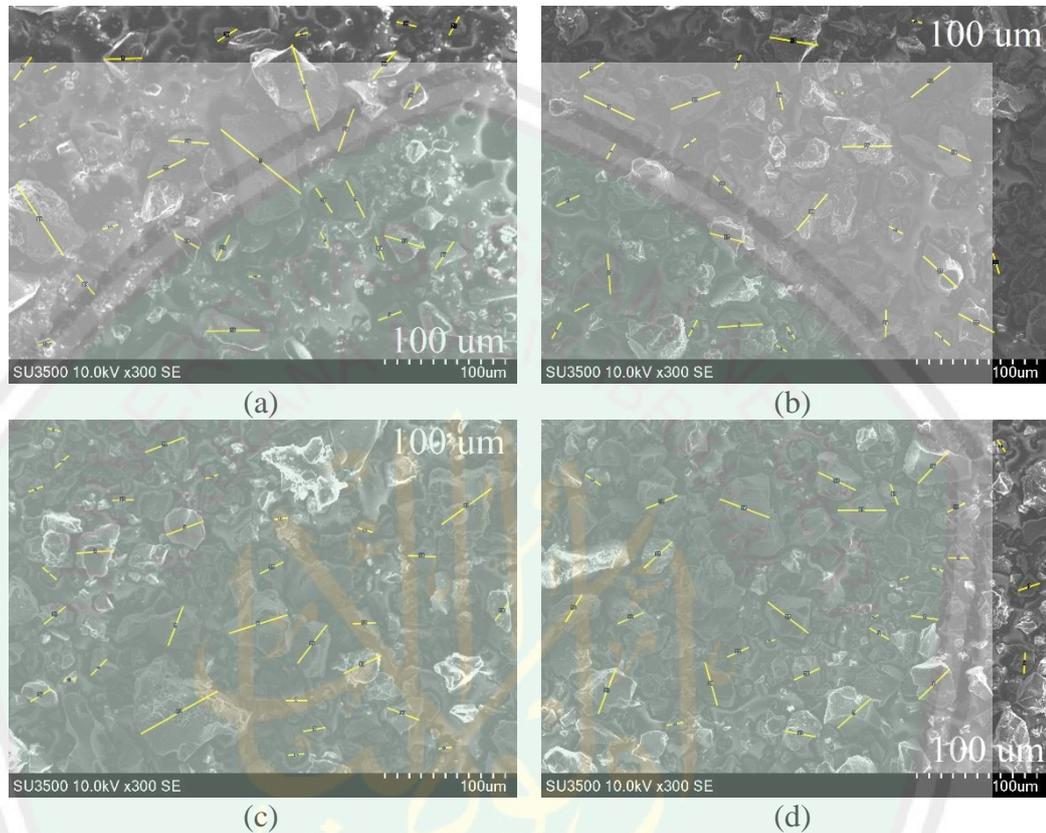
Gambar 4.5 a menunjukkan bahwa pola raman pada sampel teraktivasi suhu 850 dan 950 °C lebih tajam dari pada sampel aktivasi 750 °C dan tanpa perlakuan. Puncak D lebih tinggi dari pada puncak G pada semua sampel menandakan masih banyak struktur disorder yang terbentuk. Nilai derajat disorder ditampilkan pada tabel 4.5. Disorder terbesar terjadi pada karbon aktivasi suhu 750 °C. Hal tersebut terjadi karena karbon mengalami penguapan yang cukup tinggi, namun tidak diimbangi dengan pertumbuhan kristal yang baik. FWHM pada karbon aktivasi suhu 750 °C lebih lebar dari sampel lainnya, menunjukkan derajat kristalinitas dari material masih rendah.

Gambar 4.5 a jika dibandingkan dengan gambar 4.5 b terlihat bahwa karbon yang terbentuk memiliki struktur N-graphene. Puncak D N-graphene lebih tinggi dari puncak G, sedangkan pada graphene puncak G lebih tinggi dari puncak D. Rasio ID/IG dari graphene antara 0,50-0,89, sedangkan N-graphene memiliki nilai lebih dari 1 bergantung pada jenis ikatan yang terbentuk. Hal tersebut menandakan bahwa pembentukan struktur karbon teraktivasi tidak hanya dipengaruhi oleh penguapan, tetapi juga dipengaruhi oleh pengikatan atom nitrogen.

4.1.4 Karakterisasi SEM

Karakterisasi morfologi pada sampel dilakukan menggunakan SEM (Hitachi SU3500). Hasil pengolahan SEM ditunjukkan pada gambar 4.6. Ukuran partikel karbon yang teraktivasi lebih seragam dibandingkan dengan karbon tanpa aktivasi. Ukuran partikel rata – rata dianalisis menggunakan *software imageJ*. Hasilnya ditampilkan pada tabel 4.4. Ukuran partikel pada karbon yang teraktivasi

lebih kecil dari pada karbon tanpa aktivasi, karena adanya penguapan selama proses pemanasan.



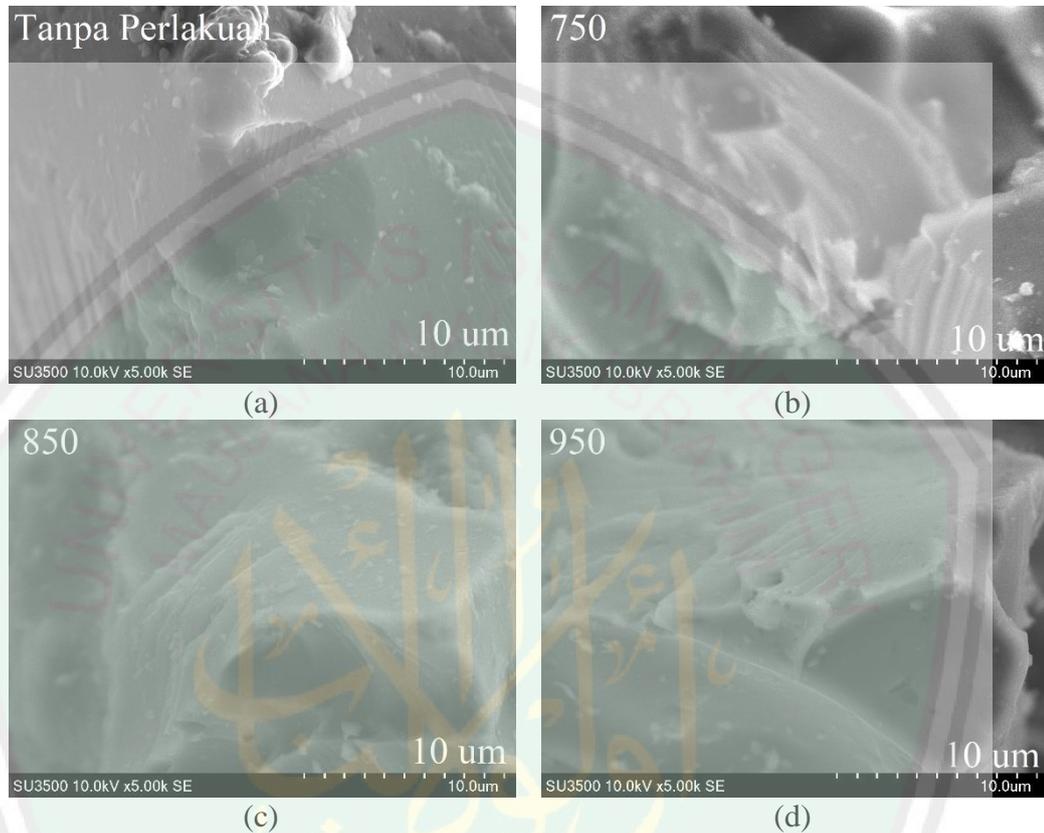
Gambar 4.6 Hasil SEM Serbuk Keratin (a) Tanpa Aktivasi, (b) Aktivasi 750 °C, (c) 850 °C, dan (d) 950 °C

Tabel 4.4 Ukuran Partikel Karbon Variasi Aktivasi Suhu

Sampel	Diameter rata – rata (nm)
Tanpa aktivasi	27,47
Aktivasi 750 °C	23,28
Aktivasi 850 °C	23,15
Aktivasi 950 °C	22,95

Tabel 4.4 menunjukkan besarnya ukuran partikel yang terbentuk. Ukuran partikel terkecil yaitu 22,95 nm pada suhu 950 °C, sedangkan ukuran terbesar yaitu pada karbon tanpa aktivasi. Hal tersebut terjadi karena kenaikan suhu menyebabkan

jumlah zat yang menguap semakin banyak, sehingga partikel akan menata diri dan menyusut.



Gambar 4.7 Permukaan Partikel (a) Tanpa Kativasi, (b) Aktivasi Suhu 750, (c) 850, dan (d) 950 °C

Gambar 4.7 merupakan data SEM partikel dengan perbesaran 5000 kali yang memberikan informasi kemunculan pori – pori pada sampel. Pori – pori sampel sudah terbentuk pada semua sampel. Ukuran pori – pori tiap sampel berbeda. Sampel tanpa perlakuan memiliki pori yang tampak lebar dari sampel yang lain. Pori – pori pada ampel 750 °C terlihat lebih kecil dari sampel tanpa aktivasi. Sampel pada aktivasi suhu 850 dan 950 °C memiliki pori – pori yang sangat kecil dibandingkan dengan sampel tanpa aktivasi dan aktivasi suhu 750 °C.

4.1.5 Karakterisasi BET

Luas permukaan dan persebaran pori karbon dapat diketahui dengan menggunakan alat BET (NOVA *High Speed Gas Sorption Analyzer Version* 11.30). Uji BET dilakukan dengan isoterm absorpsi dan desorpsi gas N₂ pada suhu 77,3 °K. Metode perhitungan BET digunakan untuk mencari ukuran luas permukaan dan metode Perhitungan BJH (*Barret Joyner Halenda*) digunakan untuk mengetahui ukuran pori – pori karbon. Hasil analisa ditampilkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Luas permukaan, Volume Pori dan Jari - jari Pori Karbon

Sampel	Luas permukaan (m ² /gr)	Volume pori (cc/g)	Jari - jari pori (nm)
Tanpa aktivasi	<<	0,011	145,37
Aktivasi 750 °C	44,76	0,005	48,58
Aktivasi 850 °C	144,66	0,010	1,71
Aktivasi 950 °C	204,91	0,008	1,54

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa luas permukaan meningkat setelah diaktivasi. Luas permukaan terbesar, yaitu 204,91 m²/gr pada karbon aktivasi suhu 950 °C. Hal tersebut terjadi karena pada suhu 950 °C karbon mengalami aglomerasi dan penyusutan pori. Aglomerasi ditandai dengan meningkatnya ukuran kristalit karbon. Proses pemanasan menyebabkan ukuran partikel menyusut sehingga pori – pori terdesak dan menyempit. Karbon tanpa perlakuan memiliki pori pada daerah makropori (> 50 nm), kemudian menyusut pada daerah mesopori (2 – 50 nm) setelah teraktivasi. Ukuran pori terkecil yaitu 1,54 nm pada suhu 950 °C. Luas permukaan yang besar dan persebaran pori mesopori pada karbon, mengoptimalkan jumlah penyerapan ion lithium, sehingga kapasitas baterai akan meningkat.

4.1.6 Pembuatan Baterai

Pembuatan anoda baterai dilakukan di Laboratorium Baterai PPF LIPI. Anoda terbuat dari karbon aktif bulu ayam yang telah diaktivasi dengan variasi suhu 750, 850 dan 950 °C. Karbon aktif dibuat menjadi *slurry* dan dicetak di atas lembaran Cu substrat. *Slurry* terbuat dari 80% karbon aktif, 10% PVDF, dan 10% super P yang dilarutkan dengan DMAC.

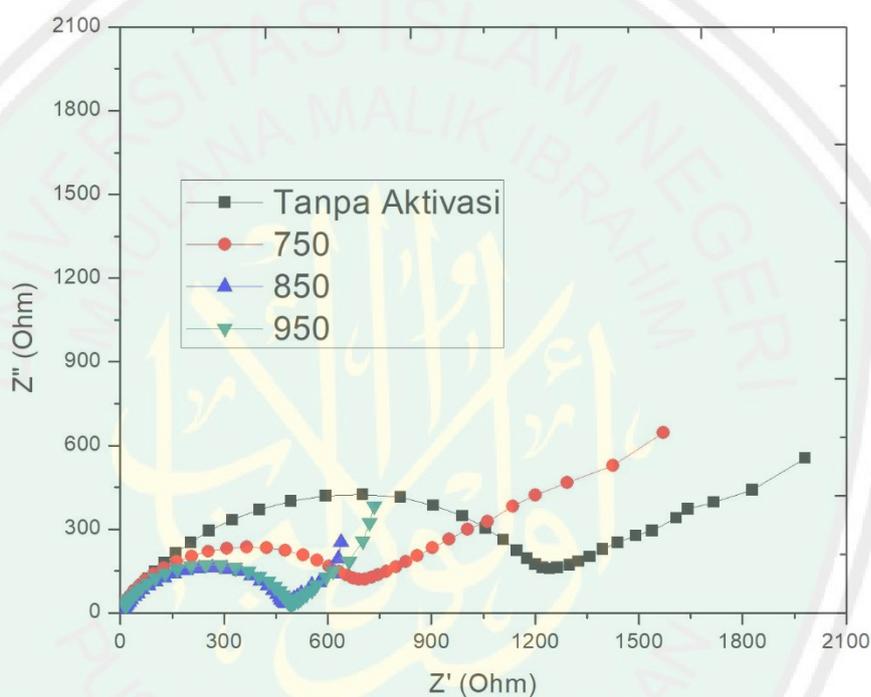
Pelarut DMAC dipanaskan pada suhu 70 °C dan di aduk dengan *magnetic stirrer* (325 rpm) selama 15 menit. PVDF ditambahkan dalam DMAC, kemudian diaduk selama ±15 menit. Setelah itu, super P ditambahkan dan diaduk hingga homogen (±15 menit). Terakhir, material aktif ditambahkan dan ditunggu ± 30 menit hingga larutan mengental.

Slurry dicetak di atas lembaran Cu substrat menggunakan *doctor blade* dengan ketebalan 200 μm . Kecepatan *doctor blade* berkisar antara 5 – 6 cm/menit. Lembaran dikeringkan dengan oven selama ± 1 jam pada suhu 70 °C. Anoda dipotong membentuk baterai koin dengan diameter 16 mm, kemudian ditimbang dan diukur ketebalannya.

Baterai setengah sel disusun didalam *glove box* untuk menghindari kontak dengan oksigen. Susunan baterai, yaitu *can*, anoda (karbon aktif), separator, elektrolit (LiPF₆), *spacer*, katoda (Li *metal*), *wave spring*, dan *cap*. Baterai disatukan dengan tekanan 500 – 800 pascal, kemudian tegangannya diukur.

4.1.7 Karakterisasi EIS

Karakterisasi EIS dilakukan dengan alat *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (Hioki 3522) di Laboratorium PPF LIPI Serpong. Data yang diperoleh dari hasil EIS berupa nyquist plot antara Z'' imajiner dan Z' real seperti pada gambar 4.8.



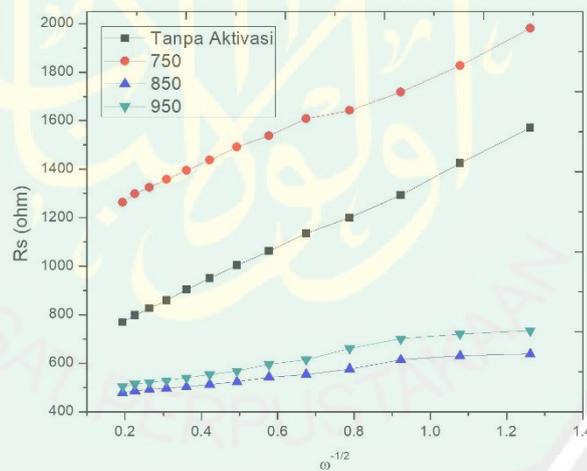
Gambar 4.8 Nyquist Plot Hasil EIS Keratin

Nyquist plot pada gambar 4.8 terdiri dari plot setengah lingkaran dan plot linier. Plot setengah lingkaran menunjukkan hambatan kontak permukaan sampel, semakin besar ukuran setengah lingkaran, maka hambatannya akan semakin besar. Hambatan (R_{ct}) diperoleh dari besarnya diameter setengah lingkaran yang terbentuk. Hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Resistansi Keratin dari Data EIS

Sampel	R_t (ohm)	R_e (ohm)	R_{ct} (ohm)
Tanpa aktivasi	1260	70	1190
Aktivasi 750 °C	697,5	41,5	656
Aktivasi 850 °C	477,5	37	440,5
Aktivasi 950 °C	476	36	440

Tabel 4.6 menunjukkan nilai resistansi dari tiap sampel. R_{ct} mengalami penurunan setelah karbon teraktivasi. Nilai hambatan terkecil yaitu 440 ohm pada karbon aktivasi suhu 950 °C, dan nilai tertinggi yaitu 1190 ohm pada karbon tanpa aktivasi. Hal tersebut terjadi karena karbon mengalami peningkatan struktur kristal setelah suhu dinaikan. Nilai R_{ct} dapat digunakan untuk menghitung konduktivitas baterai. Hasil perhitungan konduktivitas ditunjukkan pada tabel 4.7.

Gambar 4.9 Hubungan R_s dengan $\omega^{-1/2}$ pada Frekuensi Rendah

Nyquist plot linier pada bagian ekor plot, menunjukkan nilai dari difusi ion. Nilai difusi ion lithium bergantung pada nilai konstanta Warburg yang diketahui dari regresi grafik hubungan antara R_s (resistansi real) dan $\omega^{-1/2}$. Grafik

ditampilkan pada gambar 4.9. Nilai impedansi Warburg dan difusi ion lithium ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Konduktivitas, Impedansi Warburg, dan Difusi Ion Lithium

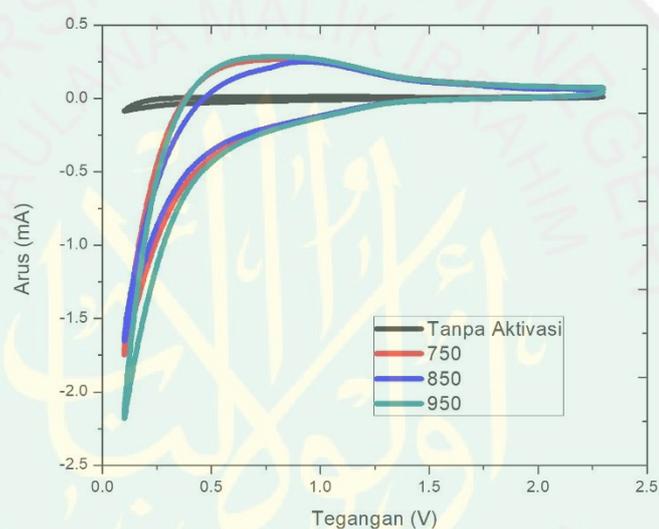
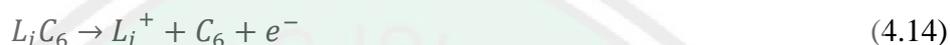
Sampel	Konduktivitas (S/cm)	σ_{ω} ($\Omega\text{m}^2\text{s}^{-1/2}$)	D_{Li^+} (cm^2/s)
Tanpa aktivasi	$5,27 \times 10^{-6}$	638,62	$1,14 \times 10^{-15}$
Aktivasi 750 °C	$9,56 \times 10^{-6}$	735,96	$8,59 \times 10^{-16}$
Aktivasi 850 °C	$1,42 \times 10^{-5}$	162,14	$1,77 \times 10^{-14}$
Aktivasi 950 °C	$1,43 \times 10^{-5}$	237,52	$8,25 \times 10^{-15}$

Nilai konduktivitas meningkat setelah diaktivasi. Konduktivitas tertinggi yaitu $1,43 \times 10^{-5}$ S/cm pada aktivasi suhu 950 °C. Hal tersebut terjadi, karena pada suhu 950 °C terjadi banyak penguapan sehingga partikel menyusut dan menyebabkan distorsi. Nilai difusi ion meningkat setelah diaktivasi. Nilai difusi ion lithium tertinggi yaitu $1,77 \times 10^{-14}$ cm^2/s dengan nilai impedansi Warburg 162,14 $\Omega\text{m}^2\text{s}^{-1/2}$ pada suhu aktivasi 850 °C. Hal tersebut terjadi karena karbon aktivasi suhu 850 °C memiliki ukuran kristalit terbesar dan d yang besar. Difusi ion pada sampel tanpa perlakuan memiliki nilai lebih besar dari pada karbon aktivasi suhu 750 °C. Hal tersebut terjadi karena karbon tanpa aktivasi memiliki ukuran d yang lebih besar dibandingkan dengan karbon aktivasi suhu 750 °C.

4.1.8 Karakterisasi *Cyclic Voltametry* (CV)

Karakterisasi CV dilakukan dengan alat WBCS3000 (*range scan* 0,1 – 2 Volt dan rasio 2 mV/s) di Laboratorium baterai PPF LIPI serpong. Karakterisasi CV dilakukan untuk mengetahui proses interkalasi dan deinterkalasi ion pada baterai melalui grafik reduksi dan oksidasi. Grafik diperoleh dari kurva hubungan antara

tegangan (V) sebagai input dengan output berupa arus (I). Kurva hasil pengujian Voltametri siklik dapat dilihat pada gambar 4.10. Anoda mengalami reduksi (persamaan 4.13) saat proses pengisian dan mengalami oksidasi (persamaan 4.14) saat proses pengosongan (Agustin, 2017).



Gambar 4.10 Grafik Voltametri Siklik Keratin Variasi Suhu Aktivasi

Grafik pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu aktivasi, puncak yang terbentuk semakin tajam. Peningkatan puncak oksidasi menandakan adanya peningkatan kecepatan proses interkalasi dan deinterkalasi. Puncak tertinggi yaitu pada karbon aktivasi suhu 950 °C dengan nilai I_{pc} 0,28 mA. hal tersebut terjadi karena karbon aktivasi suhu 950 °C memiliki konduktivitas dan difusi ion yang tinggi.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian CV Karbon

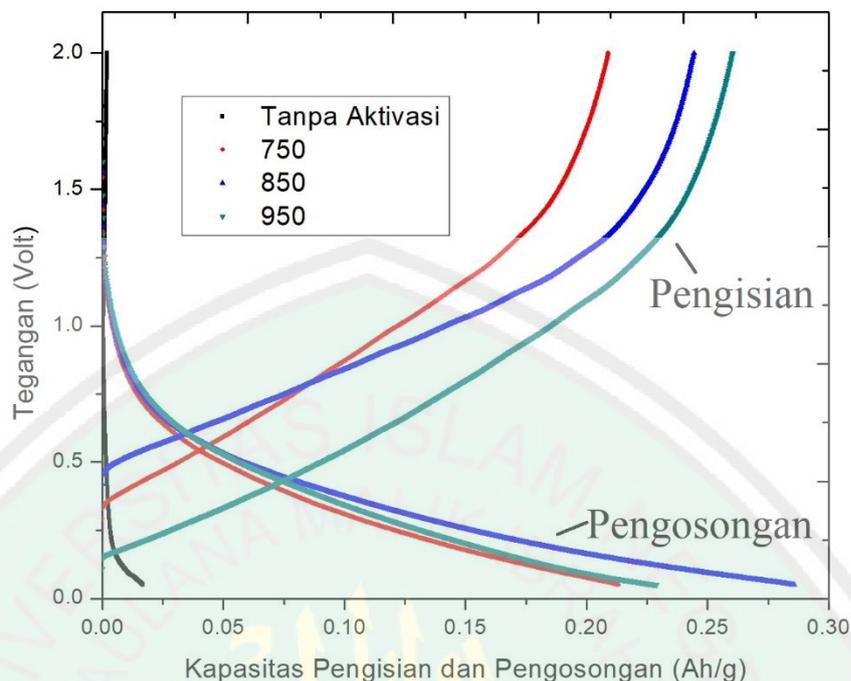
Sampel	V_{ok} (V)	$V_{ok} - V_{red}$ (V)	I_{pc} (mA)	V_{kerja} (V)
Tanpa aktivasi	1,07	1,07	0,02	0,54
Aktivasi 750 °C	0,99	0,99	0,25	0,50
Aktivasi 850 °C	0,87	0,87	0,25	0,44
Aktivasi 950 °C	0,79	0,79	0,28	0,40

Hasil analisis data CV ditunjukkan pada tabel 4.6. V_{red} tidak ditampilkan, karena nilainya sangat kecil. Selisih antara V_{ok} dan V_{red} (jarak) semakin kecil seiring peningkatan suhu aktivasi. Hal tersebut menunjukkan proses interkalasi atau deinterkalasi yang terjadi semakin cepat. Interkalasi atau deinterkalasi yang cepat menyebabkan baterai lebih cepat terisi, sehingga waktu pengisian baterai menjadi lebih singkat.

Nilai tegangan kerja mengalami penurunan setelah suhu aktivasi dinaikan. Nilai tegangan kerja terkecil yaitu 0,40 V pada karbon yang diaktivasi suhu 950 °C. Tegangan kerja pada anoda yang kecil akan menyebabkan elektron lebih mudah berpindah dari katoda ke anoda. Elektron pada anoda akan menarik ion lithium dari elektrolit. Semakin banyak elektron yang berpindah, maka semakin banyak ion lithium yang berinterkalasi.

4.1.9 Karakterisasi Pengisian dan Pengosongan (*Charge-Discharge*)

Karakterisasi CD (*charge-discharge*) dilakukan untuk mengetahui kapasitas baterai. Uji CD dilakukan menggunakan alat (CD, WBCS3000) di Laboratorium Baterai PPF LIPI Serpong. Proses uji CD dilakukan dua jenis uji yaitu uji laju arus (*C rate*) dan uji siklus.



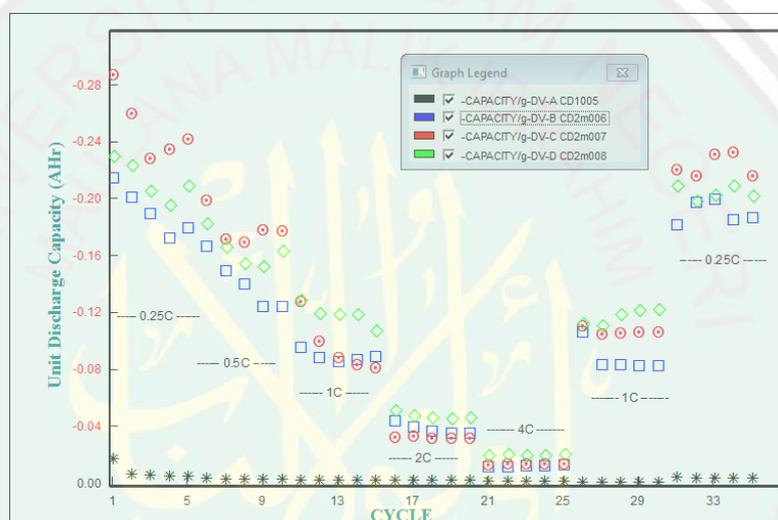
Gambar 4.11 Pengisian dan Pengosongan Siklus Pertama pada Laju Arus C/4

Tabel 4.9 Kapasitas Pengisian dan Pengosongan Siklus Pertama pada Laju Arus C/4

Sampel	C ₊ (mAh/g)	C ₋ (mAh/g)
Tanpa aktivasi	1,95	16,86
Aktivasi suhu 750 °C	209,07	213,40
Aktivasi suhu 850 °C	244,35	285,78
Aktivasi suhu 950 °C	260,34	228,92

Grafik yang mengalami kenaikan voltase saat kapasitas tinggi pada gambar 4.11 menunjukkan hasil Pengisian baterai pada siklus pertama. Tegangan yang diberikan yaitu antara 0-2 volt dengan beban arus C/4. Tabel 4.7 menunjukan besarnya kapasitas pengisian pada baterai. Kapasitas pengisian meningkat ketika suhu aktivasi yang diberikan semakin perbesar. Kapasitas pengisian terbesar yaitu 260,34 mAh/g pada aktivasi suhu 950 °C dan yang terkecil yaitu 1,95 mAh/g pada sampel tanpa perlakuan. Hal tersebut terjadi, karena karbon aktivasi suhu 950 °C mampu menyerap ion lithium dengan maksimal.

Grafik yang mengalami penurunan voltase saat kapasitansi tinggi pada gambar 4.11 menunjukkan grafik pengosongan baterai pada siklus pertama. Kapasitas pengosongan terbesar yaitu 285,78 mAh/g pada karbon aktivasi suhu 850 °C, sedangkan pada karbon aktivasi suhu 950 °C yaitu 228,92 mAh/g. Kapasitas pengosongan pada suhu 950 °C lebih kecil dari pada kapasitas pengisiannya. Hal tersebut terjadi karena adanya penahanan ion L_i^+ pada anoda.



Gambar 4.12 Grafik Kapabilitas Laju Arus

Reversibilitas dan kecepatan reaksi atom pada anoda dapat kita ketahui melalui grafik laju arus pada gambar 4.12. Laju arus yang diberikan pada sampel ini yaitu C/4, C/2, 1C, 2C, dan 4C. Besarnya nilai kapasitas pengosongan ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.10 Kapasitas Pengosongan (mAh/g) pada Laju yang Berbeda

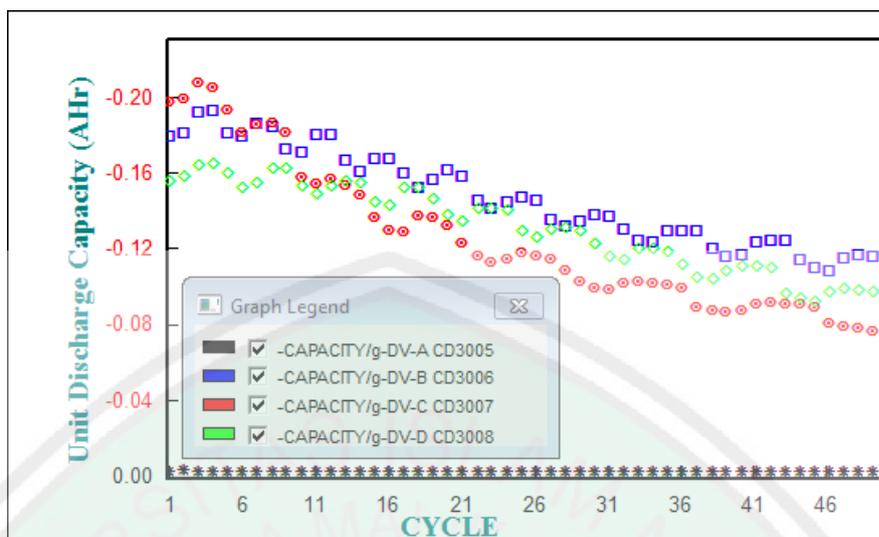
Sampel	C/4	C/2	1C	2C	4C	Retensi (%)
Tanpa aktivasi	7,68	3,13	2,36	1,62	1,09	14,19
Aktivasi 750 °C	190,51	140,26	88,72	38,07	12,13	6,37
Aktivasi 850 °C	249,12	178,46	95,60	31,86	13,60	5,46
Aktivasi 950 °C	211,59	162,82	117,91	47,06	19,83	9,37

Kapasitas pengosongan pada tabel 4.8 menunjukkan bahwa, peningkatan rapat arus menyebabkan pengurangan kapasitas pengosongan pada baterai. Penurunan terbesar pada karbon aktivasi suhu 850 °C dengan nilai retensi 5,46 %. Penurunan terkecil pada karbon tanpa aktivasi yaitu 14,19 %, tetapi kapasitas pengosongan yang dihasilkan sangat kecil. Karbon yang memiliki retensi yang bagus dengan kapasitas pengosongan yang besar adalah karbon aktivasi suhu 950 °C, karena dapat menyimpan muatan yang besar dan muatannya bereaksi cepat.

Tabel 4.11 Retensi Laju Arus C/4 Awal dan C/4 Akhir

Sampel	C/4_ awal (mAh/g)	C/4_ akhir (mAh/g)	Retensi (%)
Tanpa aktivasi	7,68	3,57	46.43
Aktivasi 750 °C	190,51	189,12	99.27
Aktivasi 850 °C	249,12	222,27	89.22
Aktivasi 950 °C	211,59	203,19	96.03

Reversibilitas anoda diketahui dengan membandingkan kapasitas pengosongan awal dan akhir pada laju arus yang sama. Retensi tiap sampel saat C/4 awal dan C/4 akhir ditampilkan pada tabel 4.9. Retensi merupakan persen kapasitas yang masih dapat dipakai. Nilai retensi terbaik yaitu 99,27 % pada sampel aktivasi 750 °C dan sampel dan 96,03 % pada sampel 950 °C. Retensi terkecil yaitu 46,43 % pada sampel tanpa perlakuan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perlakuan suhu menghasilkan kapabilitas energi dan sifat reversibel yang bagus.

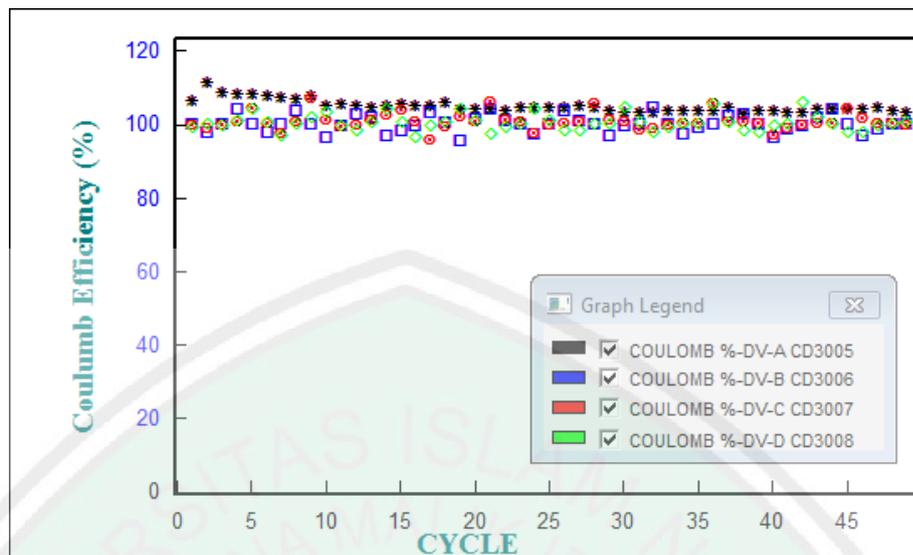


Gambar 4.13 Kapabilitas Siklus pada Laju Arus C/3

Tabel 4.12 Retensi Siklus pada Laju arus C/3

Sampel	C_ siklus pertama (mAh/g)	C_ Siklus ke 50 (mAh/g)	Retensi
Tanpa aktivasi	2,45	2,09	82,64
Aktivasi 750 °C	177,76	102,53	57,68
Aktivasi 850 °C	196,67	82,58	41,99
Aktivasi 950 °C	154,39	83,40	54,02

Stabilitas siklus diuji pada laju arus C/3. Pengisian dan pengosongan dilakukan sebanyak 50 siklus. Kapasitas pengosongan semakin menurun tiap siklusnya. Kapasitas pengosongan tertinggi saat siklus pertama yaitu pada aktivasi suhu 850 °C, tetapi retensinya sangat kecil, yaitu 41,99 %. Retensi terbaik yaitu 82,64 % pada sampel tanpa aktivasi, tetapi kapasitasnya sangat kecil. Anoda yang memiliki retensi dan kapasitas yang cukup besar yaitu karbon aktivasi suhu 750 dan 950 °C. Besarnya nilai retensi menunjukkan lamanya siklus hidup baterai.



Gambar 4.14 Efisiensi Faraday Baterai Keratin Variasi Suhu Aktivasi

Gambar 4.14 menunjukkan efisiensi Faraday setiap sampel hampir konstan 100 %. Efisiensi Faraday merupakan perbandingan antara kapasitas pengisian dan kapasitas pengosongan. Sampel tanpa aktivasi memiliki nilai efisiensi Faraday diatas 100 % pada awal siklus namun menurun pada siklus selanjutnya. Sample aktivasi suhu 750, 850, dan 950 °C memiliki efisiensi Faraday yang tidak konstan, tetapi nilainya masih diatas 95 %.

4.2 Pembahasan

Bulu ayam dipirolisis menghasilkan senyawa keratin. Identifikasi zat keratin diketahui dengan terbentuknya gugus fungsi amida ($-\text{CO}-\text{NH}$), ikatan garam (misalnya $-\text{COO}$), ikatan hidrogen ($-\text{CO}\dots\text{NH}-$ atau $-\text{CO}\dots\text{HO}$), dan ikatan disulfida ($-\text{S}-\text{S}$) (Farida, 2013). Karbon bulu ayam dapat digunakan sebagai anoda baterai ion lithium.

Analisa data XRD dan spektroskopi raman menunjukkan bahwa keratin yang telah teraktivasi membentuk senyawa karbon *N-graphene* dengan posisi

puncak XRD seperti pada tabel 4.1. Puncak XRD pada sampel mengalami pergeseran (gambar 4.3). Pergeseran puncak pada sampel aktivasi suhu 750 °C dan 950 °C lebih besar daripada sampel aktivasi suhu 850 °C. Hal tersebut terjadi karena penguapan pada sampel 750 dan 950 °C lebih besar dibandingkan pengikatan atom nitrogennya, sedangkan pada sampel 850 °C penguapan diimbangi dengan pengikatan atom nitrogen, sehingga cacat *vacancy* yang terjadi tidak terlalu besar. Pergeseran puncak tersebut berbanding terbalik dengan besarnya nilai *d* (jarak antar layer) pada struktur karbon, sehingga nilai *d* sampel 950 < 750 < 850 (tabel 4.2).

Karbon mengalami pertumbuhan kristal karena pengaruh suhu dan pengikatan atom nitrogen. Suhu yang besar memberi tenaga pada atom untuk terus bergerak dan menata struktur kristalnya. Sampel pada aktivasi suhu 750 °C memiliki ukuran *L_a* dan *L_c* lebih kecil daripada sampel aktivasi suhu 850 dan 950 °C (tabel 4.2). Hal tersebut terjadi karena energi yang diperoleh sampel pada aktivasi suhu 750 °C untuk menata kristalnya kurang besar dibandingkan aktivasi suhu 850 dan 950 °C. Sampel aktivasi suhu 950 °C memiliki ukuran kristal yang lebih kecil daripada sampel aktivasi 850 °C. Hal tersebut terjadi karena penguapan zat volatil pada suhu 950 °C lebih besar daripada suhu 850 °C.

Hasil analisa data spektroskopi raman menunjukkan bahwa nilai distorsi pada sampel aktivasi suhu 750 °C lebih besar dibandingkan dengan sampel tanpa aktivasi. Hal tersebut terjadi karena saat sampel dipanaskan dan dialiri gas N₂ atom akan bergerak, berikatan, dan menguap, sehingga akan terjadi banyak cacat. Tetapi pada suhu 850 dan 950 °C sampel mengalami perbaikan stuktur sehingga nilai distorsinya menurun.

Penguapan zat volatil pada karbon mempengaruhi ukuran partikel. Analisis data SEM menunjukkan bahwa ukuran partikel karbon semakin kecil saat suhu aktivasi yang diberikan semakin tinggi (tabel 4.4). Hal tersebut terjadi karena saat suhu aktivasi yang diberikan semakin tinggi, maka zat volatil yang menguap akan semakin besar. Peningkatan suhu juga menyebabkan penataan kristalit pada sampel meningkat. Penguapan akan menghasilkan rongga pada sampel, namun rongga tersebut diperbaiki dengan penataan kristal dalam partikel yang semakin baik. Kristalit didalam partikel semakin besar, sehingga karbon bulu ayam cenderung mengalami penyusutan pada suhu aktivasi yang tinggi. Penyusutan tersebut juga mempengaruhi luas permukaan dan pori pada karbon.

Analisis BET menunjukkan bahwa ukuran pori – pori karbon semakin menyusut, sedangkan ukuran luas permukaan semakin besar saat suhu aktivasi yang diberikan semakin besar. Ukuran pori pada karbon aktivasi suhu 950 °C memiliki ukuran terkecil dibandingkan dengan sampel aktivasi suhu 750 dan 850 °C. Hal tersebut terjadi karena pada sampel 950 °C partikel mengecil, sehingga pori – pori terdesak dan mengalami penyusutan. Ukuran luas permukaan pada sampel aktivasi 950 °C lebih besar dari pada sampel aktivasi suhu 750 dan 850 °C. Luas permukaan membesar karena adanya penyusutan pori – pori dan pertumbuhan kristalit yang semakin besar. Peningkatan luas permukaan dapat meningkatkan kinerja anoda baterai ion lithium.

Analisa data EIS menunjukkan bahwa anoda baterai ion lithium dari sampel yang diaktivasi suhu 950 °C memiliki konduktivitas yang lebih besar dari pada sampel aktivasi suhu 750 dan 850 °C. Besarnya nilai konduktivitas dipengaruhi oleh

besarnya ukuran partikel dan distorsi pada karbon. Ukuran partikel yang kecil dan seragam pada sampel aktivasi suhu 950 °C akan mempermudah gerak dan memperpendek jarak tempuh muatan pada karbon. Hal tersebut terjadi karena muatan akan keluar dari kristalit dan bergerak melewati partikel demi partikel dalam lapisan karbon aktif menuju ke Cu sebagai penghantar muatan kemudian diteruskan ke katoda. Distorsi pada karbon akan meningkatkan jumlah hole, sehingga akan semakin banyak muatan yang berpindah. Sampel aktivasi suhu 750 °C memiliki distorsi yang lebih besar daripada sampel 950 °C, tetapi memiliki nilai konduktivitas yang lebih rendah daripada sampel 950 °C. Hal tersebut terjadi karena ukuran partikel partikel pada sampel 950 lebih kecil dan seragam dari pada sampel 750 °C.

Difusi ion lithium dipengaruhi oleh ukuran kristalit (L_a , L_c , d) dan ukuran partikel. Ion lithium akan berdifusi dan masuk melewati kristalit. Hasil analisa CV menunjukkan bahwa difusi ion pada sampel aktivasi suhu 850 °C memiliki nilai terbesar daripada sampel aktivasi suhu 750 dan 950 °C. Hal tersebut terjadi karena ukuran kristalit yang besar dan ukuran partikel yang kecil pada sampel aktivasi 850 °C akan mempermudah ion lithium berdifusi, karena jaraknya yang lebih singkat dan kristalitnya yang lebih teratur. Menandakan bahwa struktur kristal semakin teratur, sehingga ion lithium akan mudah berdifusi. Difusi ion juga akan lebih mudah terjadi pada kristalit yang memiliki nilai d besar, karena ion lithium (0,069 nm) memiliki jalan difusi yang cukup lebar. Hal tersebut yang menyebabkan difusi ion pada sampel tanpa aktivasi memiliki nilai yang lebih besar daripada sampel aktivasi suhu 750 °C.

Proses interkalasi dan deinterkalasi ion lithium pada anoda dipengaruhi oleh difusi ion lithium. Semakin cepat ion lithium berdifusi, maka proses interkalasi dan deinterkalasi akan semakin cepat. Proses interkalasi pada sampel aktivasi 950 °C memiliki nilai yang lebih besar dari pada sampel 750, 850 dan tanpa aktivasi. Hal tersebut terjadi karena sampel aktivasi suhu 950 °C memiliki nilai difusi ion dan konduktivitas yang lebih besar dari sampel lainnya. Selain itu, sampel aktivasi 950 °C juga memiliki tegangan kerja yang lebih kecil dari sampel lainnya, sehingga muatan (elektron) akan lebih cepat berkumpul dan menarik ion lithium pada anoda. Semakin cepat proses interkalasi dan deinterkalasi pada anoda, maka baterai akan lebih cepat terisi.

Besarnya kapasitas pengosongan sampel aktivasi 850 °C pada siklus pertama memiliki nilai yang lebih besar dari pada sampel aktivasi 950 °C, karena diameter dan volume pori - pori pada sampel aktivasi 850 °C lebih besar daripada sampel aktivasi suhu 950 °C. Kapasitas pengosongan sampel aktivasi suhu 750 °C memiliki nilai yang lebih kecil daripada sampel aktivasi suhu 850 °C, karena ukuran luas permukaan sampel aktivasi suhu 750 °C lebih kecil daripada sampel 850 °C. Kapasitas pengisian dan pengosongan pada baterai dipengaruhi oleh besarnya luas permukaan dan persebaran pori. luas permukaan yang besar akan meningkatkan kontak ion lithium dengan anoda. semakin banyak ion lithium yang berinteraksi, maka akan memperbesar kapasitas baterai. Persebaran pori mesopori (2 – 5 nm) akan meningkatkan penyerapan ion lithium, sehingga kapasitas akan meningkat. Ukuran luas permukaan yang besar dan persebaran pori mesopori akan mengoptimalkan kapasitas baterai.

Kecepatan reaksi atom pada baterai diuji dengan cara menaikkan rapat arus pengosongan pada baterai dari laju arus $C/4$ sampai $4C$. Kenaikan rapat arus akan mempersingkat waktu pengisian dan pengosongan, semakin besar nilai laju arus maka waktu yang dilakukan untuk pengisian dan pengosongan semakin cepat. Retensi perbandingan antara laju arus $C/4$ dan $4C$ diperoleh seperti pada tabel 4.10. Nilai retensi terbesar yaitu 14,19% pada sampel tanpa aktivasi. Hal tersebut terjadi karena ukuran kristalit dan derajat distorsi pada sampel tanpa aktivasi lebih kecil daripada karbon teraktivasi, sehingga baterai akan lebih mudah mengalami proses elektrokimia. Sampel aktivasi suhu $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ memiliki nilai distorsi yang lebih besar daripada sampel aktivasi suhu $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, tetapi memiliki nilai retensi yang lebih besar daripada sampel aktivasi $850\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hal tersebut terjadi karena ukuran kristalit sampel aktivasi suhu $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ lebih kecil dari pada sampel aktivasi suhu $850\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kecepatan proses elektrokimia pada sampel menentukan besarnya nilai kapasitas pengisian dan pengosongan yang didapat saat nilai laju arus dinaikan.

Laju arus diturunkan kembali saat siklus ke 35 yaitu $C/4$. Perbandingan retensi antara $C/4$ awal dan $C/4$ pada siklus ke 35 akan menunjukkan reversibilitas baterai. Tabel 4.11 menunjukkan bahwa nilai retensi terkecil yaitu 46,43% pada sampel tanpa aktivasi. Hal tersebut terjadi karena ion lithium yang berinteraksi dengan karbon tidak dapat terpecah kembali, sehingga baterai yang terbentuk bersifat tidak reversibel.

Kapasitas pengosongan terus menurun saat terjadi pengujian pada siklus berikutnya. Nilai retensi pada sampel tanpa aktivasi lebih tinggi (82,64%) daripada sampel teraktivasi, tetapi kapasitas pengosongan yang dihasilkan sangat kecil. Hal

tersebut terjadi karena pada sampel tanpa aktivasi memiliki fasa yang lebih stabil dari pada sampel teraktivasi. Sampel aktivasi suhu 850 °C memiliki retensi terendah yaitu 41,99 %, karena memiliki fasa yang belum stabil. Proses aktivasi menyebabkan penyusunan ulang struktur atom dalam sampel, sehingga atom tidak stabil dan mudah terdekomposisi. Kerusakan tersebut menyebabkan ion lithium yang berinterkalasi atau deinterkalasi berkurang, sehingga kapasitasnya akan turun. Penurunan siklus hidup juga dapat terjadi karena adanya SEI (*Solid Electrolyte Interface*). SEI dapat diketahui dengan melakukan uji lebih lanjut pada anoda.

Efektivitas baterai dapat diketahui dari nilai efisiensi Faraday. gambar 4.14 menunjukkan bahwa nilai efisiensi Faraday sampel tanpa aktivasi cenderung mengalami penurunan. Hal tersebut menandakan bahwa perbandingan antara kapasitas pengisian dan pengosongan semakin besar. Kapasitas pengisian lebih besar daripada kapasitas pengosongan. Hal tersebut terjadi karena adanya ion lithium yang tidak dapat terdeinterkalasi dari anoda sehingga mengurangi kapasitas pengosongan baterai. Sampel teraktivasi suhu 750, 850, dan 950 °C memiliki nilai efisiensi Faraday yang tidak konstan karena fasa yang terbentuk pada sampel kurang stabil.

Seorang saintis muslim diharuskan merenungi dan memikirkan mengenai ciptaan Allah, karena semua ciptaan-Nya memiliki pelajaran dan tidak ada yang sia – sia sebagaimana firmanNya dalam Qs. As Shaad 38:27

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَطْلًا خ ذَلِكَ ظَنُّ الَّذِينَ كَفَرُوا ج فَوَيْلٌ لِلَّذِينَ
كَفَرُوا مِنَ النَّارِ {27}

“Dan kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada diantara keduanya dengan sia-sia. Itu anggapan orang-orang kafir, maka celakalah orang-orang kafir itu karena mereka akan masuk neraka” (Qs. As Shaad (38):27).

Ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah membantah sangkaan kaum musyrikin tentang penciptaan alam semesta yang tidak memiliki hikmah (بطلا). Semua ciptaan Allah memiliki manfaat, bahkan dari sesuatu yang sudah tidak digunakan. Manfaat dari ciptaan Allah dapat diperoleh dengan melakukan riset dan penelitian. Bulu ayam yang merupakan limbah jika diolah dan diteliti dapat menghasilkan sesuatu yang memiliki banyak manfaat, misalnya sebagai anoda baterai ion lithium. Proses penelitian dan hasilnya dapat memberikan ilmu pengetahuan baru. Bertambahnya ilmu pengetahuan akan meningkatkan rasa iman kita pada Allah, sehingga Allah mengangkat derajat kita, seperti firman-Nya.

يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ ءَامَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ {11}

“Allah akan mengangkat derajat orang – orang yang beriman diantara kamu dan orang – orang yang berilmu, dengan beberapa tingkat”. (Qs. Al-Mujadilat 58:11)

Ayat tersebut menjelaskan bahwa ilmu merupakan jalan yang dapat mengantarkan manusia mencapai derajat kemanusiaan yang lebih tinggi. Orang yang berilmu akan diakui dimasyarakat, mendapatkan kedudukan yang lebih tinggi, dan juga tidak akan mudah disesatkan oleh orang lain. ilmu pengetahuan yang dimiliki juga dapat digunakan untuk membantu orang lain dan membantu perkembangan ilmu pengetahuan.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu.

1. Variasi suhu aktivasi mempengaruhi karakteristik karbon yang terbuat dari keratin. Struktur kristal yang terbentuk yaitu hexagonal dengan struktur N-graphene. Ukuran La dan Lc meningkat setelah diaktivasi. Ukuran terbesar yaitu 4,18 nm dan 1,28 nm pada suhu 850 °C. Suhu aktivasi menyebabkan ukuran partikel mengecil hingga 22,95 nm pada suhu 950 °C. Luas permukaan meningkat saat sampel diaktivasi pada suhu tinggi dengan ukuran terbesar yaitu 204,91 m²/g (suhu aktivasi 950 °C). Aktivasi fisika menyebabkan pori - pori karbon mengecil hingga 1,54 nm pada suhu 950 °C.
2. Variasi suhu aktivasi karbon mempengaruhi kinerja anoda baterai ion lithium. Peningkatan suhu aktivasi menyebabkan konduktivitas anoda meningkat, nilai tertinggi yaitu 1,43 x 10⁻⁵ S/cm pada suhu aktivasi 950 °C. Suhu aktivasi menyebabkan difusi ion lithium semakin cepat, yaitu 1,77 x 10⁻¹⁴ cm²/s (suhu aktivasi 850 °C). Tegangan kerja baterai terkecil diperoleh pada sampel aktivasi suhu 950 °C (0,40 V). Kapasitas peningkatan pada karbon yang diaktivasi pada suhu tinggi. Kapasitas pengosongan tertinggi pada rapat arus C/4 yaitu 249.12 mAh/g (suhu aktivasi 850 °C). Kestabilan siklus terbaik dengan kapasitas yang besar diperoleh pada karbon teraktivasi

suhu 750 °C. Nilai retensi yang dihasilkan setelah 50 siklus saat pengosongan pada rapat arus C/3 yaitu 57,68 %.

5.2 Saran

Penelitian ini masih perlu dikembangkan dengan menemukan metode aktivasi lain yang memiliki potensi untuk meningkatkan karakteristik karbon keratin, sehingga dapat diperoleh anoda karbon dengan kinerja yang lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Ardiles. 2011. *Pembuatan, Pencirian, dan Uji Daya Adsorpsi Arang Aktif dari Kayu Meranti Merah (Shorea sp.)*. skripsi. Bogor: IPB.
- Afif, Muhammad Thowil. 2015. *Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik*. Jurnal Rekayasa Mesin. Vol. 6: 95-99.
- Agustin, Almas A. 2017. *Karakterisasi Keratin dengan Variasi KOH sebagai Bahan Anoda pada Baterai Litium*. Skripsi. Malang: UIN Malang.
- Al-Mahalli, Imam J. 2008. *Terjemahan Tafsir Jalalain berikut Asbabun Nuzul Jilid 1*. Bandung: Sinar Baru Algensindo.
- Al-Maraghi, Ahmad M. 1994. *Tafsir Al-Maraghi Jilid 23*. Semarang: CV. Toha Putra.
- Argast, Anne. 2004. *A Web Resource for the Study of Alkali Feldspars and Perthitic Textures Using Light Microscopy, Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*. Journal of Geoscience Education, vol. 52: 213-217.
- An, Seong Jin, dkk. 2017. *Fast Formation Cycling for Lithium Ion Batteries*. Power Sources. 342:846-852
- Awaluddin. 2015. *Pengaruh Penambahan Bahan Dopan Ta₂O₅ Pada Bahan Piezoelektrik Ramah Lingkungan (K_{0,5}Na_{0,5})_{0,96}Li_{0,04}NbO₃ dengan Menggunakan Sintesis Metode Molten Salt*. Jurnal Fisika Unand. vol. 4: 136-143.
- Bansal, Gagan, dkk. 2017. *Application and Properties of Chicken Feather Fiber (CFF) a Livestock Waste in Composite Material Development*. Journal of Graphic Era University. Vol. 5, Issue 1, 16-24.
- Callister, D william. 2014. *Material science and angenering*. USA: Willey.
- Cao, Wei. 2018. *Potato derived Biomassa Porous Carbon as Anode for Potassium Ion Batteries*. Electrochimica Acta, vol 293: 364-370.
- Farida, Amilatul. 2013. *Karakterisasi dan Analisis Struktur Kristal Komposit Zat Keratin dari Bulu Unggas dan Magnesium (Mg) dengan Metode Rietveld*. Skripsi. Malang: UIN Malang.

- Gao, Zan, dkk. 2017. *Biomass-derived renewable carbon materials for electrochemical energy storage*. MATER.RES.LETT. 5:69-88.
- Geng, Dongsheng. 2011. Nitrogen Doping Effects on The Structure of Graphene. *Applied Surface Science*. Vol, 257: 9193-9198.
- Gupta, Arun dan Swati Sharma. 2016. *Sustainable Management of Keratin Waste Biomass: Applications and Future Perspectives*. Braz. Arch. Biol. Technol. v.59: e16150684.
- Harahap, M. Ridwan. 2016. *Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi*. Circuit. 2:176-180.
- Hariyanto. 2012. *Efek Doping Ni dalam Sintesis Material Multiferroik BiFeO₃ Berbasis Pasir Besi Dengan Metode Kopresipitasi*. Jurnal Teknik Pomits. vol. 1: 1-4
- Hidayat, Syahrul, dkk. 2016. *Sintesis Polianilin dan Karakteristik Kinerjanya Sebagai Anoda pada Sistem Baterai Asam Sulfat*. Jurnal Material dan Energi Indonesia, vol. 06: 20-26.
- Hwang, Yun Ju. 2006. *Pyrolytic Carbon Derived from Coffee Shells as Anode Material for Lithium Batteries*. Journal of Physics and Chemistry Of Solid, vol, 68: 182-188.
- Hwang, Yun Ju. 2008. *High Kapasitas Disordered Carbons Obtained from Coconut Shells as Anode Materials for Lithium Batteries*. Journal of Alloy and Compounds, vol 448:141-147.
- Junior, Miguel. 2017. *Production and Characterization of Activated Carbon Fiber from Textile PAN Fiber*. São José dos Campos, vol. 09: 423-430.
- Kakkar, Prachi. 2014. *Extraction and Characterization of keratin from bovine hoof: A Potential Material for Biomedical Application*. SpringerPlus, vol, 3:596-604.
- Kasvaye, Keivan Amiri. 2011. *Synthesis of Li-ion battery cathode materials via freeze ranulation*. Thesis. Sweden: Chalmers University of Technology
- Khuluk, Rifki Husnul. 2016. *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (cocous nucifera L.) sebagai Absorben Bahan Warna Metilen Blue*. Skripsi. Lampung: Universitas Lampung.
- Kienhe, H. A. 2003. *Battery Thecnology Handbook Second Edition*. New York: Marcel Dekker Inc.

- Lempang, Mody. 2014. *Pembuatan dan Kegunaan Arang Aktif*. EBONI. 11:65-80.
- Liebeck, Berna M. 2014. *Synthesis and Characterization of Methyl Selulose/Keratin Hydrolysate Composite Membranes*. Polymers, vol 9:91-103.
- Linden, David. 2001. *Handbook of Batteries 3ed*. New York: McGraw-Hill.
- Liu, Min, dkk. 2015. *Biomass-derived Activated Carbon for Rechargeable Lithium Sulfur Batteries*. BioResources. 10:155-168
- Liu, Yu dan Yefeng Yang. 2016. *Recent Progress of TiO₂-Based Anodes for Li Ion Batteries*. Nanomaterial. ID 8123652:1-15.
- Manocha, Sathis M. 2003. *Porous Carbon*. Sadhana. 28: 33348.
- Marsh, H. dan R. R. Francisco. 2006. *Activated Carbon*. Elsevier Science and Technology Books: Ukraina.
- Muhammad, Ahsin Sakho dan Zarkasih Afif. 2015. *Al Qur'an dan Terjemah*. Forum Pelayanan Al Qur'an: Tangerang.
- Mullaivananathan, V. 2017. *Coir Pith Derived Bio-carbon: Demonstration of Potential Anode Behavior in Lithium-ion Batteries*. Electrochimica Acta, vol. 225; 143-150.
- Nuronyah, Ilma. 2018. *Sintesis Dan Karakterisasi Li₄Ti₅O₁₂ Dengan Metode Sol Gel Sebagai Material Anoda Baterai Ion Lithium*. Skripsi. Jakarta: UIN Jakarta.
- Peng, Bo. 2017. *The Electrochemical Performance of Super P Carbon Black in Reversible Li/Na Ion Uptake*. Science China Physics, Mechanics & Astronomy. Vol, 6: 1-8.
- Ramakrishnan, Navina. 2018. *Keratin Based Bioplastic Film From Chicken Feathers and its Characterization*. Internasional Journal of Biological Macromolecules, vol. 11:352-358.
- Sadezky, A. 2005. *Raman Microspectroscopy of Soot on Related Carbonaceous Material: Spectral Analysis and Structural Information*. Carbon. Vol, 6: 1731-1742.
- Saravanan, KR. 2015. *Nitrogen containing bio-carbon as a potential anode for lithium batteries*. Carbon, vol. 81: 43-53.

- Sari, Kartika. 2015. *Pembuatan Baterai Lithium menggunakan Bahan Aktif Mesocarbon Microbead (MCMB) Sebagai Anoda Dengan Variasi Presentase Berat Pelarut N,N-Dimethyl Acetamide (DMAC)*. Skripsi. Sumatra Utara: USU
- Senoz, Erman, dan Richard P. Wool. 2011. *Hydrogen storage on Pyrolyzed Chicken Feather Fiber*. International Journal of Hidrogen Storage. 36:7122-7127
- Subhan, Achmad. 2011. *Fabrikasi dan Karakterisasi $Li_4Ti_5O_{12}$ Untuk Bahan Anoda Baterai Lithium Keramik*. Thesis. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Subhan, Achmad. 2017. *Analisa Koefisien Difusi Anoda LTO yang Didoping CA dari Limbah Kulit Telur untuk Aplikasi Baterai Lithium-ion Berdaya Tinggi*. Jurnal Material dan ENERGI Indonesia. vol, 7: 6 – 11.
- Wati, Genduk Alkurnia. 2015. *Kapasitansi Elektroda Supercapacitor Dari Tempurung Kelapa*. Jurnal Fisika. Vol, 4: 6 – 9.
- Yu, Xinliang. 2015. *Biomass carbon derived from sisal fiber as anode material for lithium-ion batteries*. Materials Letters, vol. 142: 193–196.
- Yokoyama, Shinya. 2008. *Panduan untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomasa*. Jepang: Japan Institute of Energy.
- Zhan, Yunfeng. 2015. *Iodine/Nitrogen Co-Doped Graphene as Metal Free Catalyst for Oxygen Reduction Reaction*. Carbon. Vol, 95; 930-939.
- Zhao, zijian. 2015. *High Performance N-Doped Porous Activated Carbon based on Chicken Feather for Supercapacitor and CO_2 Capture*. Royal Society of Chemistry. Vol, 5: 34803-34811.

LAMPIRAN I PERHITUNGAN BAHAN

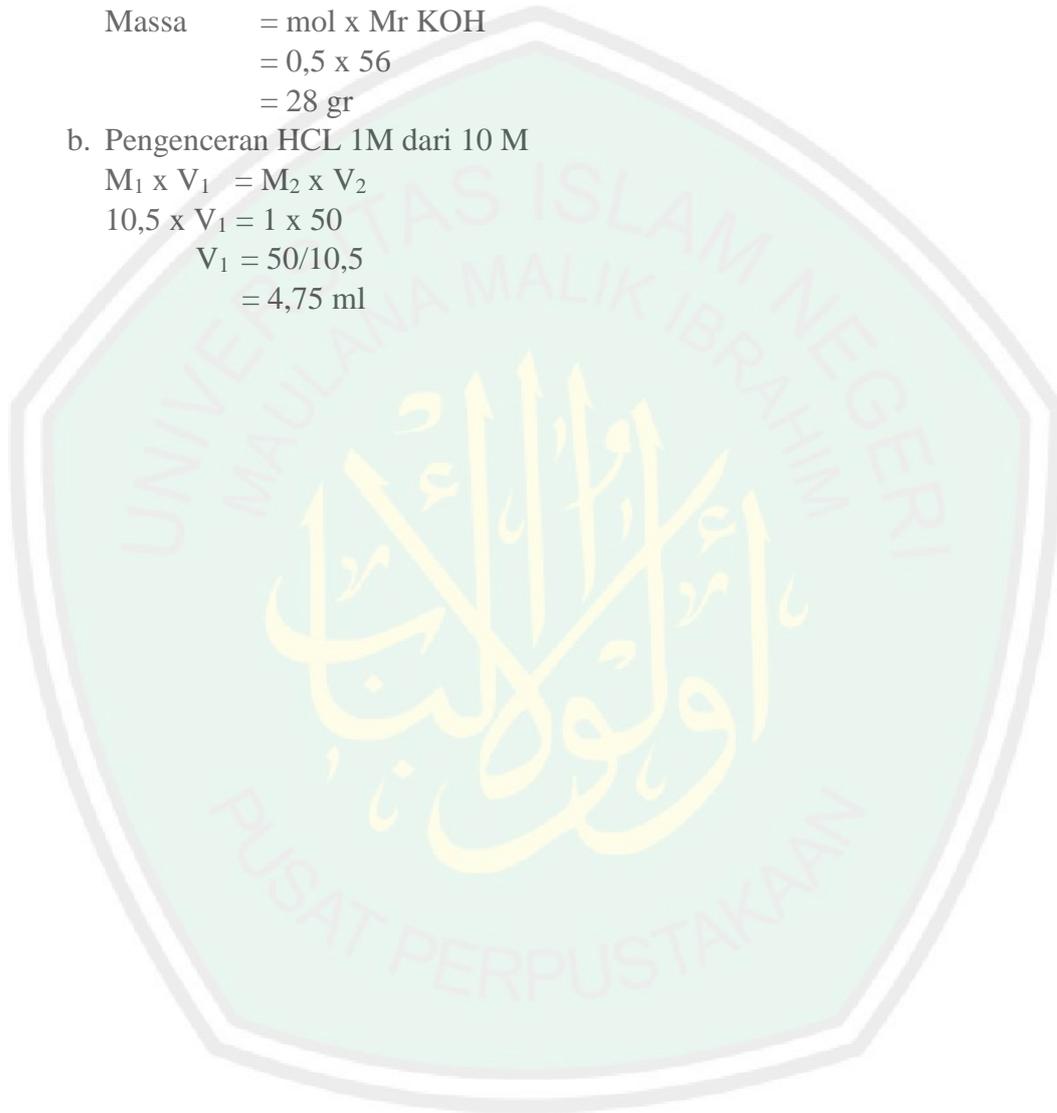
a. Larutan KOH 5 M

$$\begin{aligned}\text{Mol} &= 5 \text{ M} \times 0,1 \text{ L} \\ &= 5 \text{ mol/L} \times 0,1 \text{ L} \\ &= 0,5 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa} &= \text{mol} \times \text{Mr KOH} \\ &= 0,5 \times 56 \\ &= 28 \text{ gr}\end{aligned}$$

b. Pengenceran HCL 1M dari 10 M

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 10,5 \times V_1 &= 1 \times 50 \\ V_1 &= 50/10,5 \\ &= 4,75 \text{ ml}\end{aligned}$$



LAMPIRAN 2 DATA DAN PERHITUNGAN HASIL XRD

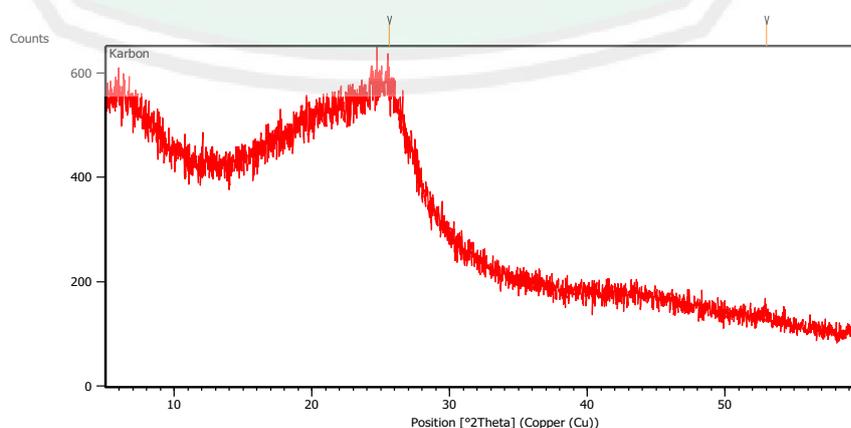
1. Data

Measurement Conditions :

Measurement Date / Time : 12/3/2018 7:06:00 AM
Raw Data Origin : PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis : Gonio
Start Position [$^{\circ}2\text{Th.}$] : 5.0084
End Position [$^{\circ}2\text{Th.}$] : 59.9864
Step Size [$^{\circ}2\text{Th.}$] : 0.0170
Scan Step Time [s] : 10.1500
Scan Type : Continuous
Offset [$^{\circ}2\text{Th.}$] : 0.0000
Divergence Slit Type : Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$] : 0.2500
Specimen Length [mm] : 10.00
Receiving Slit Size [mm] : 12.7500
Measurement Temperature [$^{\circ}\text{C}$] : -273.15
Anode Material : Cu
K-Alpha1 [\AA] : 1.54060
K-Alpha2 [\AA] : 1.54443
K-Beta [\AA] : 1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio : 0.50000
Generator Settings : 30 mA, 40 kV
Diffractometer Type : XPert MPD
Diffractometer Number : 1
Goniometer Radius [mm] : 200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] : 91.00
Incident Beam Monochromator : No
Spinning : No

a. Karbon tanpa perlakuan

Main Graphics, Analyze View:

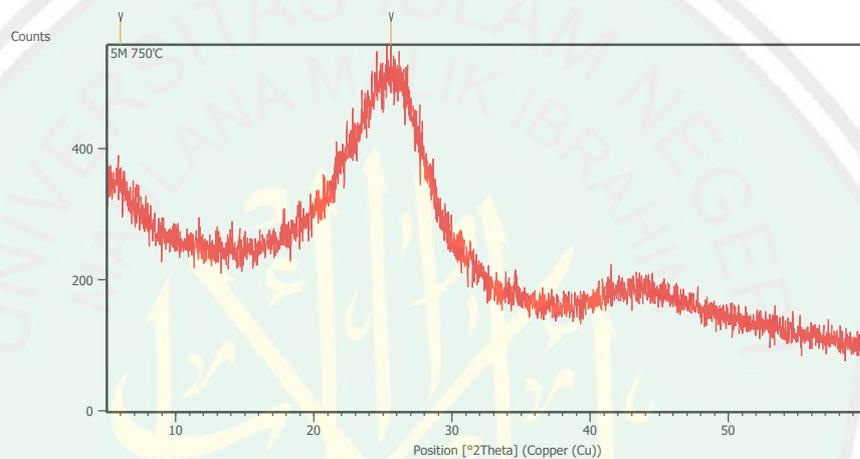


Puncak List:

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
25.6163	56.44	0.8029	3.47759	100.00
53.0035	7.52	0.8029	1.72769	13.33

b. Aktivasi suhu 750 $^{\circ}\text{C}$

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)

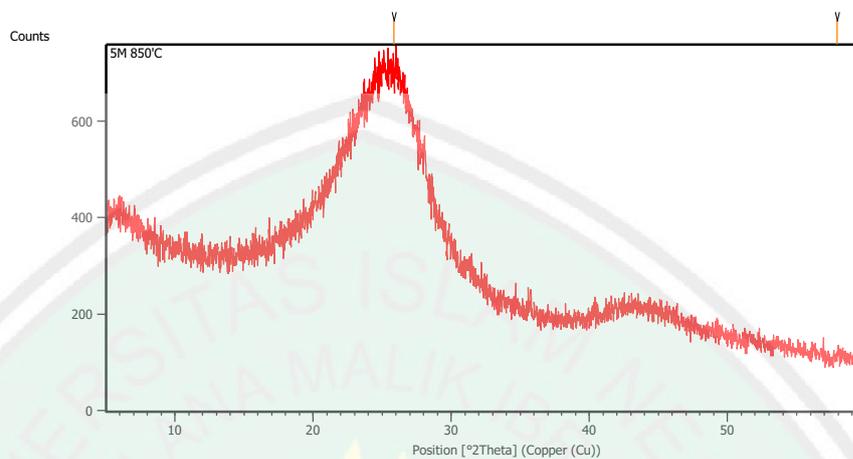


Puncak List:

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
5.9886	45.27	0.9792	14.74631	47.82
25.5465	94.66	0.0900	3.48405	100.00

c. Aktivasi suhu 850 °C

Main Graphics, Analyze View:

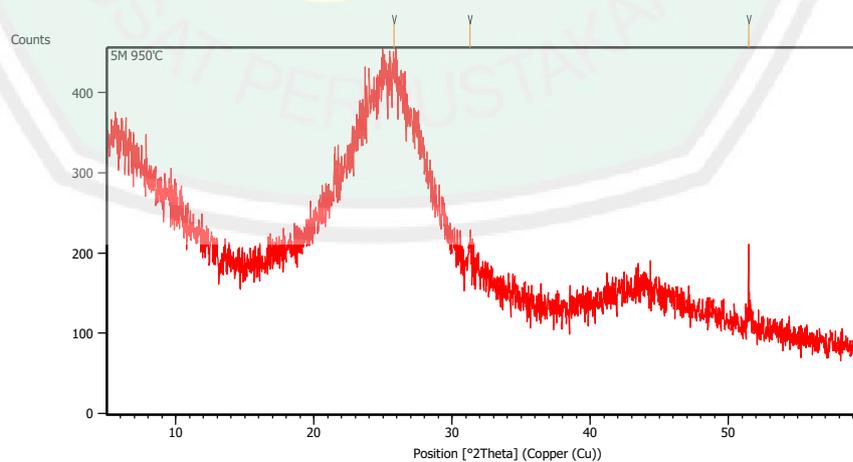


Puncak List:

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
25.8588	70.43	0.8029	3.44552	100.00
57.9507	11.08	0.8029	1.59142	15.73

d. Aktivasi suhu 950 °C

Main Graphics, Analyze View:



Puncak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.7873	80.75	0.0900	3.45206	82.27
31.2782	30.57	0.2676	2.85980	31.15
51.4633	98.15	0.0612	1.77424	100.00

2. Perhitungan kristal (La, Lc, dan d)

a. Tanpa aktivasi

Diket =

$$K_c = 0,9$$

$$\beta_1 = 0,15 \text{ rad}$$

$$\theta_1 = 12,45^\circ$$

$$\lambda = 1,54 \text{ nm}$$

Tanya =

Lc... ? d... ?

La... ?

Jawab =

$$L_c = \frac{K_c \lambda}{\beta_1 \cos \theta_1}$$

$$= \frac{0,9 \times 1,54}{0,15 \times \cos 12,45}$$

$$= 0,94 \text{ nm}$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta_1}$$

$$= \frac{1,54}{2 \sin 12,45}$$

$$= 0,358 \text{ nm}$$

b. Aktivasi suhu 750 °C

Diket =

$$K_c = 0,9$$

$$K_a = 1,77$$

$$\beta_1 = 0,12 \text{ rad}$$

$$\beta_2 = 0,11 \text{ rad}$$

$$\theta_1 = 12,75^\circ$$

$$\theta_2 = 22,55^\circ$$

$$\lambda = 1,54 \text{ nm}$$

Tanya =

Lc... ? d... ?

La... ?

Jawab =

$$L_c = \frac{K_c \lambda}{\beta_1 \cos \theta_1}$$

$$= \frac{0,9 \times 1,54}{0,12 \times \cos 12,75}$$

$$= 1,18 \text{ nm}$$

$$L_a = \frac{K_a \lambda}{\beta_2 \cos \theta_2}$$

$$= \frac{1,77 \times 1,54}{0,11 \times \cos 22,55}$$

$$= 2,66 \text{ nm}$$

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{\lambda}{2 \sin \theta_1} \\
 &= \frac{1,54}{2 \sin 12,75} \\
 &= 0,348 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

c. Aktivasi suhu 850 °C

Diket =

$$\begin{array}{ll}
 K_c &= 0,9 & K_a &= 1,77 \\
 \beta_1 &= 0,11 \text{ rad} & \beta_2 &= 0,07 \text{ rad} \\
 \theta_1 &= 12,71^\circ & \theta_2 &= 22,54^\circ \\
 \lambda &= 1,54 \text{ nm} & &
 \end{array}$$

Tanya =

Lc... ? d... ?

La... ?

Jawab =

$$\begin{aligned}
 L_c &= \frac{K_c \lambda}{\beta_1 \cos \theta_1} & L_a &= \frac{K_a \lambda}{\beta_2 \cos \theta_2} \\
 &= \frac{0,9 \times 1,54}{0,11 \times \cos 12,71} & &= \frac{1,77 \times 1,54}{0,07 \times \cos 22,54} \\
 &= 1,28 \text{ nm} & &= 4,18 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{\lambda}{2 \sin \theta_1} \\
 &= \frac{1,54}{2 \sin 12,71} \\
 &= 0,351 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

d. Aktivasi suhu 950 °C

Diket =

$$\begin{array}{ll}
 K_c &= 0,9 & K_a &= 1,77 \\
 \beta_1 &= 0,12 \text{ rad} & \beta_2 &= 0,08 \text{ rad} \\
 \theta_1 &= 12,76^\circ & \theta_2 &= 22,75^\circ \\
 \lambda &= 1,54 \text{ nm} & &
 \end{array}$$

Tanya =

Lc... ? d... ?

La... ?

Jawab =

$$\begin{aligned}
 L_c &= \frac{K_c \lambda}{\beta_1 \cos \theta_1} & L_a &= \frac{K_a \lambda}{\beta_2 \cos \theta_2} \\
 &= \frac{0,9 \times 1,54}{0,12 \times \cos 12,76} & &= \frac{1,77 \times 1,54}{0,08 \times \cos 22,75} \\
 &= 1,18 \text{ nm} & &= 3,66 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

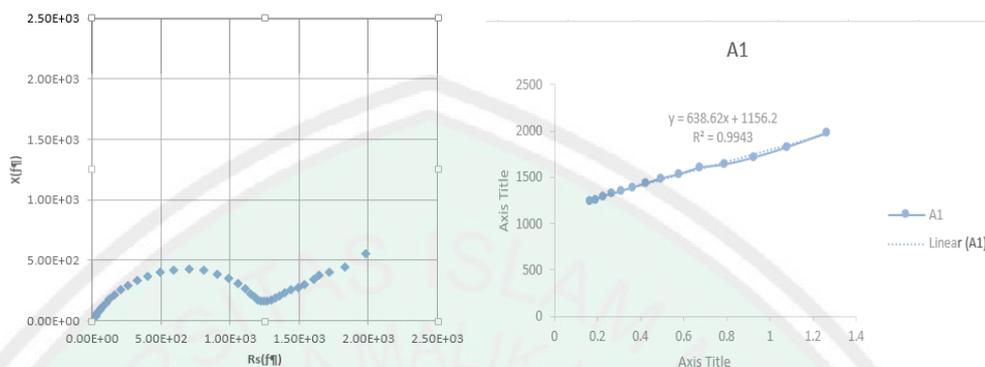
$$\begin{aligned}
 d &= \frac{\lambda}{2 \sin \theta_1} \\
 &= \frac{1,54}{2 \sin 12,76} \\
 &= 0,347 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN 3 DATA DAN PERHITUNGAN EIS

1. Tanpa perlakuan

Frequency	Z(ohm)	deg(deg)	Rs(ohm)	X(ohm)	Vmoni(V)	Imoni(A)
20000	4.36E+01	-58.23	2.30E+01	3.71E+01	0.1	2.29E-03
14630	5.37E+01	-57.96	2.85E+01	4.55E+01	0.111	2.07E-03
10700	6.59E+01	-57.64	3.53E+01	5.57E+01	0.122	1.85E-03
7821	8.05E+01	-57.35	4.34E+01	6.77E+01	0.128	1.59E-03
5719	9.85E+01	-57.14	5.34E+01	8.27E+01	0.139	1.41E-03
4182	1.20E+02	-56.88	6.57E+01	1.01E+02	0.147	1.22E-03
3058	1.47E+02	-56.44	8.13E+01	1.23E+02	0.155	1.05E-03
2236	1.80E+02	-55.73	1.01E+02	1.49E+02	0.161	8.90E-04
1635	2.20E+02	-54.66	1.27E+02	1.80E+02	0.161	7.26E-04
1196	2.68E+02	-53.13	1.61E+02	2.15E+02	0.169	6.26E-04
874.6	3.25E+02	-51.12	2.04E+02	2.53E+02	0.175	5.34E-04
639.5	3.91E+02	-48.82	2.57E+02	2.94E+02	0.178	4.53E-04
467.7	4.65E+02	-45.9	3.24E+02	3.34E+02	0.181	3.86E-04
342	5.47E+02	-42.67	4.02E+02	3.71E+02	0.183	3.32E-04
250.1	6.36E+02	-39.09	4.94E+02	4.01E+02	0.184	2.87E-04
182.9	7.27E+02	-35.21	5.94E+02	4.19E+02	0.185	2.53E-04
133.7	8.20E+02	-31.18	7.01E+02	4.24E+02	0.186	2.25E-04
97.8	9.11E+02	-27.15	8.10E+02	4.16E+02	0.179	1.95E-04
71.52	9.84E+02	-23.03	9.05E+02	3.85E+02	0.182	1.83E-04
52.3	1.05E+03	-19.38	9.89E+02	3.48E+02	0.184	1.74E-04
38.24	1.10E+03	-16.05	1.06E+03	3.04E+02	0.185	1.67E-04
27.97	1.14E+03	-13.3	1.11E+03	2.62E+02	0.186	1.61E-04
20.45	1.17E+03	-11.08	1.15E+03	2.24E+02	0.186	1.57E-04
14.95	1.19E+03	-9.4	1.18E+03	1.95E+02	0.186	1.54E-04
10.94	1.21E+03	-8.26	1.20E+03	1.74E+02	0.186	1.52E-04
7.997	1.23E+03	-7.6	1.22E+03	1.63E+02	0.186	1.49E-04
5.848	1.25E+03	-7.31	1.24E+03	1.59E+02	0.186	1.47E-04
4.276	1.27E+03	-7.32	1.26E+03	1.62E+02	0.186	1.45E-04
3.127	1.31E+03	-7.55	1.30E+03	1.72E+02	0.18	1.36E-04
2.287	1.34E+03	-7.94	1.33E+03	1.85E+02	0.181	1.34E-04
1.672	1.37E+03	-8.46	1.36E+03	2.02E+02	0.181	1.30E-04
1.223	1.41E+03	-9.32	1.40E+03	2.29E+02	0.181	1.26E-04
0.894	1.46E+03	-9.96	1.44E+03	2.53E+02	0.179	1.21E-04
0.654	1.52E+03	-10.52	1.49E+03	2.77E+02	0.179	1.16E-04
0.478	1.57E+03	-10.85	1.54E+03	2.95E+02	0.174	1.10E-04
0.35	1.64E+03	-11.94	1.61E+03	3.40E+02	0.171	1.03E-04
0.256	1.68E+03	-12.78	1.64E+03	3.73E+02	0.163	9.56E-05

0.187	1.76E+03	-13.01	1.72E+03	3.97E+02	0.153	8.55E-05
0.137	1.88E+03	-13.55	1.83E+03	4.40E+02	0.146	7.65E-05
0.1	2.06E+03	-15.65	1.98E+03	5.55E+02	0.124	5.95E-05



Perhitungan

Diket =

$R_{ct} = 1190 \text{ ohm}$ $\sigma_{\omega} = 638,62 \text{ ohm}$
 $A = 2,0096 \text{ cm}^2$ $n = 1$
 $l = 0,0129 \text{ cm}$ $F = 96485,33 \text{ C/mol}$
 $R = 8,314 \text{ J/mol K}$ $C = 0,00437 \text{ mol/cm}^3$
 $T = 300 \text{ oK}$

Tanya =

Konduktivitas... ?

Dli... ?

Jawab =

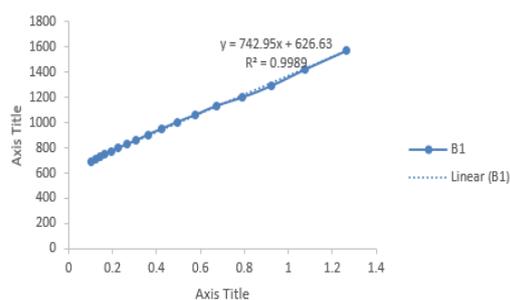
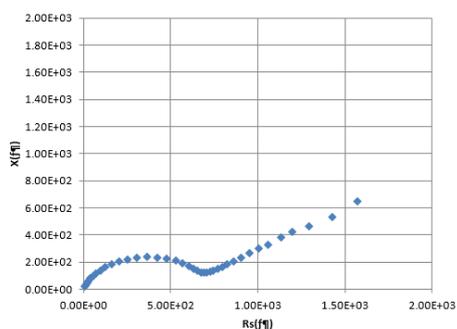
$$\sigma = \frac{l}{R_{ct}A} = \frac{0,0129}{1190 \times 2,0096} = 5,27 \times 10^{-6} \text{ S/cm}$$

$$Dli = \frac{R^2 T^2}{2A^2 n^4 F^4 C^2 \sigma_{\omega}^2} = \frac{8,314^2 \times 300^2}{2 \times 2,0096^2 \times 1^4 \times 96485,33^4 \times 0,00437^2 \times 638,62^2} = 1,14 \times 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{s}$$

2. Aktivasi suhu 750 °C

Frequency	Z(ohm)	deg(deg)	Rs(ohm)	X(ohm)	Vmoni(V)	Imoni(A)
20000	2.57E+01	-66.91	1.01E+01	2.37E+01	0.074	2.88E-03
14630	3.33E+01	-67.36	1.28E+01	3.07E+01	0.089	2.68E-03
10700	4.29E+01	-67.15	1.67E+01	3.95E+01	0.104	2.43E-03
7821	5.50E+01	-66.34	2.21E+01	5.04E+01	0.115	2.08E-03
5719	7.02E+01	-64.9	2.98E+01	6.36E+01	0.128	1.82E-03
4182	8.89E+01	-63.02	4.03E+01	7.92E+01	0.139	1.56E-03
3058	1.11E+02	-60.69	5.45E+01	9.71E+01	0.147	1.32E-03
2236	1.38E+02	-58.05	7.31E+01	1.17E+02	0.154	1.11E-03

1635	1.69E+02	-55.04	9.70E+01	1.39E+02	0.154	9.07E-04
1196	2.05E+02	-51.77	1.27E+02	1.61E+02	0.162	7.87E-04
874.6	2.45E+02	-48.36	1.63E+02	1.83E+02	0.168	6.80E-04
639.5	2.89E+02	-44.63	2.06E+02	2.03E+02	0.172	5.89E-04
467.7	3.37E+02	-40.8	2.55E+02	2.20E+02	0.174	5.15E-04
342	3.86E+02	-36.88	3.09E+02	2.32E+02	0.177	4.54E-04
250.1	4.35E+02	-32.83	3.65E+02	2.36E+02	0.178	4.07E-04
182.9	4.83E+02	-28.86	4.23E+02	2.33E+02	0.179	3.68E-04
133.7	5.27E+02	-25.02	4.78E+02	2.23E+02	0.18	3.39E-04
97.8	5.69E+02	-21.51	5.29E+02	2.09E+02	0.173	3.02E-04
71.52	6.00E+02	-18.26	5.70E+02	1.88E+02	0.176	2.91E-04
52.3	6.27E+02	-15.5	6.05E+02	1.68E+02	0.178	2.82E-04
38.24	6.50E+02	-13.29	6.32E+02	1.49E+02	0.179	2.74E-04
27.97	6.68E+02	-11.67	6.54E+02	1.35E+02	0.18	2.67E-04
20.45	6.85E+02	-10.59	6.73E+02	1.26E+02	0.181	2.61E-04
14.95	7.01E+02	-9.96	6.90E+02	1.21E+02	0.181	2.56E-04
10.94	7.18E+02	-9.71	7.08E+02	1.21E+02	0.181	2.50E-04
7.997	7.38E+02	-9.89	7.27E+02	1.27E+02	0.181	2.43E-04
5.848	7.59E+02	-10.33	7.46E+02	1.36E+02	0.181	2.37E-04
4.276	7.84E+02	-10.98	7.70E+02	1.49E+02	0.181	2.29E-04
3.127	8.15E+02	-11.72	7.98E+02	1.66E+02	0.175	2.13E-04
2.287	8.47E+02	-12.6	8.27E+02	1.85E+02	0.175	2.05E-04
1.672	8.84E+02	-13.47	8.59E+02	2.06E+02	0.175	1.96E-04
1.223	9.34E+02	-14.5	9.04E+02	2.34E+02	0.174	1.85E-04
0.894	9.86E+02	-15.55	9.50E+02	2.64E+02	0.172	1.73E-04
0.654	1.05E+03	-16.56	1.00E+03	2.99E+02	0.169	1.60E-04
0.478	1.11E+03	-17.16	1.06E+03	3.28E+02	0.164	1.46E-04
0.35	1.20E+03	-18.62	1.14E+03	3.83E+02	0.158	1.31E-04
0.256	1.27E+03	-19.41	1.20E+03	4.23E+02	0.149	1.16E-04
0.187	1.37E+03	-19.84	1.29E+03	4.66E+02	0.138	9.93E-05
0.137	1.52E+03	-20.35	1.43E+03	5.29E+02	0.13	8.47E-05
0.1	1.70E+03	-22.33	1.57E+03	6.45E+02	0.111	6.42E-05



Perhitungan

Diket =

$$\begin{array}{ll} R_{ct} & = 656 \text{ ohm} & \sigma_{\omega} & = 735,96 \text{ ohm} \\ A & = 2,0096 \text{ cm}^2 & n & = 1 \\ l & = 0,0129 \text{ cm} & F & = 96485,33 \text{ C/mol} \\ R & = 8,314 \text{ J/mol K} & C & = 0,00437 \text{ mol/cm}^3 \\ T & = 300 \text{ }^{\circ}\text{K} & & \end{array}$$

Tanya =

Konduktivitas... ?

$D_{Li}...$?

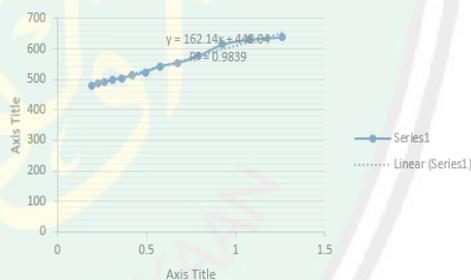
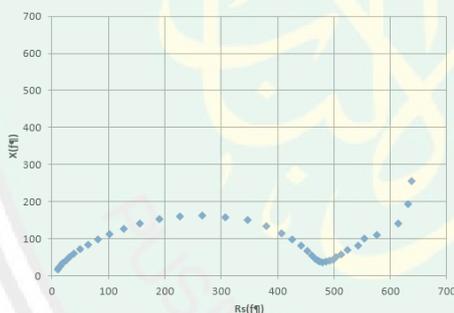
Jawab =

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{l}{R_{ct}A} & D_{Li} &= \frac{R^2 T^2}{2A^2 n^4 F^4 C^2 \sigma_{\omega}^2} \\ &= \frac{0,0129}{656 \times 2,0096} & &= \frac{8,314^2 \times 300^2}{2 \times 2,0096^2 \times 1^4 \times 96485,33^4 \times 0,00437^2 \times 735,96^2} \\ &= 9,56 \times 10^{-6} \text{ S/cm} & &= 8,59 \times 10^{-16} \text{ cm}^2/\text{s} \end{aligned}$$

3. Aktivasi suhu 850 °C

Frequency	Z(ohm)	deg(deg)	Rs(ohm)	X(ohm)	Vmoni(V)	Imoni(A)
20000	1.91E+01	-58.07	10.104	16.214	0.057	2.98E-03
14630	2.39E+01	-59.32	12.206	20.575	0.068	2.85E-03
10700	3.00E+01	-59.89	15.041	25.937	0.08	2.67E-03
7821	3.76E+01	-59.72	18.941	32.444	0.09	2.39E-03
5719	4.68E+01	-59.09	24.056	40.179	0.103	2.19E-03
4182	5.81E+01	-58	30.781	49.26	0.115	1.97E-03
3058	7.15E+01	-56.5	39.478	59.652	0.125	1.74E-03
2236	8.75E+01	-54.66	50.643	71.412	0.134	1.53E-03
1635	1.06E+02	-52.62	64.542	84.49	0.137	1.29E-03
1196	1.28E+02	-50.28	81.612	98.223	0.147	1.15E-03
874.6	1.52E+02	-47.74	102.33	112.63	0.154	1.01E-03
639.5	1.80E+02	-44.93	127.25	126.96	0.159	8.83E-04
467.7	2.10E+02	-41.92	156.4	140.45	0.164	7.75E-04
342	2.43E+02	-38.63	189.9	151.74	0.167	6.83E-04
250.1	2.78E+02	-35.09	227.22	159.65	0.17	6.07E-04
182.9	3.12E+02	-31.24	266.93	161.91	0.171	5.46E-04
133.7	3.46E+02	-27.22	307.53	158.15	0.173	4.97E-04
97.8	3.77E+02	-23.34	346.19	149.34	0.167	4.39E-04
71.52	4.03E+02	-19.43	379.62	133.9	0.17	4.19E-04
52.3	4.23E+02	-15.86	406.64	115.56	0.172	4.04E-04
38.24	4.38E+02	-12.88	426.73	97.578	0.173	3.93E-04

27.97	4.49E+02	-10.35	442.02	80.764	0.174	3.84E-04
20.45	4.58E+02	-8.33	453.35	66.415	0.174	3.77E-04
14.95	4.64E+02	-6.84	460.9	55.267	0.175	3.73E-04
10.94	4.69E+02	-5.66	466.5	46.234	0.175	3.70E-04
7.997	4.73E+02	-4.94	471.39	40.767	0.175	3.66E-04
5.848	4.77E+02	-4.51	475.6	37.499	0.175	3.63E-04
4.276	4.81E+02	-4.27	479.65	35.821	0.174	3.60E-04
3.127	4.88E+02	-4.38	486.61	37.309	0.168	3.42E-04
2.287	4.93E+02	-4.63	491.62	39.843	0.169	3.39E-04
1.672	5.00E+02	-4.99	498.22	43.532	0.168	3.33E-04
1.223	5.06E+02	-5.68	503.15	50.059	0.165	3.23E-04
0.894	5.16E+02	-6.31	512.63	56.69	0.16	3.08E-04
0.654	5.28E+02	-7.56	523.89	69.527	0.154	2.89E-04
0.478	5.49E+02	-8.38	543.38	80.054	0.146	2.64E-04
0.35	5.62E+02	-10.18	553.52	99.361	0.132	2.32E-04
0.256	5.87E+02	-10.89	576.33	110.93	0.116	1.96E-04
0.187	6.30E+02	-12.93	614.06	141.02	0.102	1.61E-04
0.137	6.60E+02	-17.14	630.78	194.49	0.085	1.28E-04
0.1	6.87E+02	-21.73	638.15	254.31	0.063	9.08E-05



Perhitungan

Diket =

R_{ct}	= 440,5 ohm	σ_{ω}	= 162,14 ohm
A	= 2,0096 cm ²	n	= 1
l	= 0,0129 cm	F	= 96485,33 C/mol
R	= 8,314 J/mol K	C	= 0,00437 mol/cm ³
T	= 300 °K		

Tanya =

Konduktivitas... ?

D_{Li} ... ?

Jawab =

$$\sigma = \frac{l}{R_{ct}A}$$

$$D_{li} = \frac{R^2 T^2}{2A^2 n^4 F^4 C^2 \sigma_{\omega}^2}$$

$$= \frac{0,0129}{440,5 \times 2,0096}$$

$$= 1,42 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$$

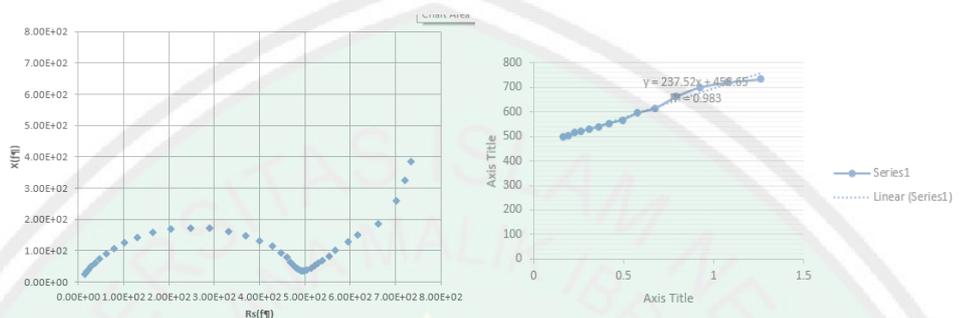
$$= \frac{8,314^2 \times 300^2}{2 \times 2,0096^2 \times 1^4 \times 96485,33^4 \times 0,00437^2 \times 162,14^2}$$

$$= 1,77 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$$

4. Aktivasi suhu 950 °C

Frequency	Z(ohm)	deg(deg)	Rs(ohm)	X(ohm)	Vmoni(V)	Imoni(A)
20000	2.91E+01	-59.03	1.50E+01	2.49E+01	0.078	2.68E-03
14630	3.64E+01	-59.93	1.82E+01	3.15E+01	0.091	2.49E-03
10700	4.56E+01	-60.15	2.27E+01	3.96E+01	0.104	2.27E-03
7821	5.71E+01	-59.84	2.87E+01	4.93E+01	0.113	1.97E-03
5719	7.11E+01	-58.92	3.67E+01	6.09E+01	0.125	1.75E-03
4182	8.83E+01	-57.58	4.74E+01	7.46E+01	0.135	1.53E-03
3058	1.09E+02	-55.78	6.12E+01	9.00E+01	0.143	1.32E-03
2236	1.33E+02	-53.44	7.91E+01	1.07E+02	0.15	1.13E-03
1635	1.61E+02	-50.76	1.02E+02	1.25E+02	0.151	9.33E-04
1196	1.93E+02	-47.43	1.30E+02	1.42E+02	0.159	8.19E-04
874.6	2.28E+02	-43.66	1.65E+02	1.57E+02	0.164	7.17E-04
639.5	2.65E+02	-39.43	2.05E+02	1.68E+02	0.168	6.31E-04
467.7	3.02E+02	-34.93	2.47E+02	1.73E+02	0.171	5.62E-04
342	3.37E+02	-30.5	2.91E+02	1.71E+02	0.173	5.08E-04
250.1	3.70E+02	-25.99	3.33E+02	1.62E+02	0.174	4.67E-04
182.9	3.98E+02	-21.81	3.70E+02	1.48E+02	0.175	4.36E-04
133.7	4.21E+02	-17.96	4.01E+02	1.30E+02	0.176	4.14E-04
97.8	4.44E+02	-14.85	4.29E+02	1.14E+02	0.169	3.77E-04
71.52	4.57E+02	-11.88	4.47E+02	9.40E+01	0.172	3.73E-04
52.3	4.67E+02	-9.63	4.60E+02	7.81E+01	0.173	3.69E-04
38.24	4.74E+02	-7.75	4.69E+02	6.38E+01	0.174	3.65E-04
27.97	4.79E+02	-6.32	4.76E+02	5.27E+01	0.175	3.62E-04
20.45	4.84E+02	-5.31	4.82E+02	4.48E+01	0.175	3.59E-04
14.95	4.88E+02	-4.66	4.86E+02	3.96E+01	0.176	3.57E-04
10.94	4.92E+02	-4.28	4.91E+02	3.67E+01	0.176	3.54E-04
7.997	4.96E+02	-4.07	4.95E+02	3.52E+01	0.176	3.51E-04
5.848	5.00E+02	-4.13	4.99E+02	3.60E+01	0.176	3.48E-04
4.276	5.06E+02	-4.4	5.04E+02	3.88E+01	0.175	3.44E-04
3.127	5.16E+02	-4.84	5.14E+02	4.36E+01	0.169	3.25E-04
2.287	5.23E+02	-5.58	5.21E+02	5.09E+01	0.169	3.21E-04
1.672	5.32E+02	-6.39	5.29E+02	5.93E+01	0.169	3.14E-04
1.223	5.44E+02	-7.2	5.40E+02	6.82E+01	0.166	3.02E-04
0.894	5.60E+02	-8.34	5.54E+02	8.12E+01	0.162	2.87E-04
0.654	5.77E+02	-10	5.68E+02	1.00E+02	0.155	2.67E-04

0.478	6.10E+02	-12.15	5.96E+02	1.28E+02	0.148	2.40E-04
0.35	6.34E+02	-13.7	6.16E+02	1.50E+02	0.134	2.09E-04
0.256	6.87E+02	-15.65	6.62E+02	1.85E+02	0.123	1.78E-04
0.187	7.47E+02	-20.2	7.01E+02	2.58E+02	0.109	1.44E-04
0.137	7.90E+02	-24.17	7.21E+02	3.23E+02	0.092	1.16E-04
0.1	8.28E+02	-27.55	7.34E+02	3.83E+02	0.069	8.23E-05



Perhitungan

Diket =

R_{ct}	= 440 ohm	σ_{ω}	= 237,52 ohm
A	= 2,0096 cm ²	n	= 1
l	= 0,0129 cm	F	= 96485,33 C/mol
R	= 8,314 J/mol K	C	= 0,00437 mol/cm ³
T	= 300 °K		

Tanya =

Konduktivitas... ?

D_{Li} ... ?

Jawab =

$$\sigma = \frac{l}{R_{ct}A} = \frac{0,0129}{440 \times 2,0096} = 1,43 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$$

$$D_{li} = \frac{R^2 T^2}{2A^2 n^4 F^4 C^2 \sigma_{\omega}^2} = \frac{8,314^2 \times 300^2}{2 \times 2,0096^2 \times 1^4 \times 96485,33^4 \times 0,00437^2 \times 162,14^2} = 8,25 \times 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{s}$$

LAMPIRAN 4 DOKUMENTASI KEGIATAN



Pembuatan dan aktivasi fisika karbon menggunakan alat unit pirolisis



Karbon bulu ayam



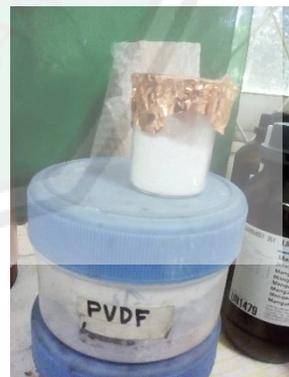
Penghalusan karbon



Perendaman karbon dengan toluena



Aktivasi karbon dengan KOH 5M



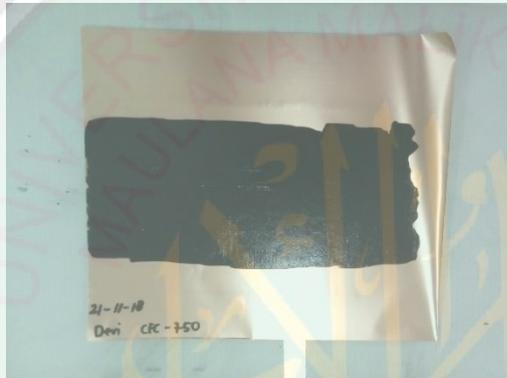
PVDF bahan untuk membuat *slurry*



Pembuatan *slurry*



Cu substrat sebagai bahan anoda



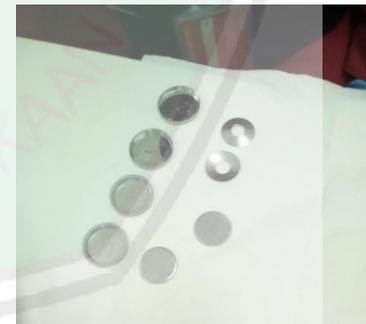
Lembaran anoda



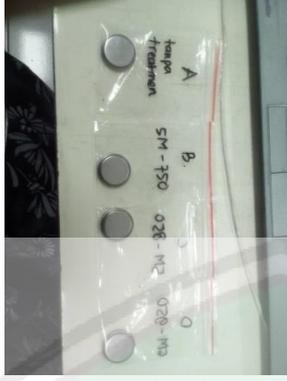
Proses pengeringan lembaran anoda menggunakan oven



Lembaran anoda yang telah dipotong



Komponen penyusun baterai



Baterai coin





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

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

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Devi Puspitasari
NIM : 14640031
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Karakteristik Keratin Sebagai Anoda Baterai Ion Lithium
Pembimbing I : Erna Hastuti, M.Si
Pembimbing II : Achmad Subhan, M.T
Pembimbing III : Ahmad Abtokhi, M.Pd

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	21 Januari 2019	Konsultasi Data dan Bab I	
2.	14 Februari 2019	Konsultasi Data dan Bab I	
2	21 Februari 2019	Konsultasi Bab I	
3	28 Februari 2019	Konsultasi Bab I dan Bab IV	
4	4 Maret 2019	Konsultasi Bab IV	
5	14 Maret 2019	Konsultasi Bab IV	
6	13 Maret 2019	Konsultasi Kajian Agama	
7	15 Maret 2019	Konsultasi Bab I, II, III dan IV	
8	20 Maret 2019	Konsultasi Kajian Agama dan Acc	
9	28 Maret 2019	Konsultasi Bab I, II, III, IV, dan Acc seminar Hasil	
10	11 April 2019	Konsultasi Bab V	
11	8 Mei 2019	Konsultasi semua Bab dan Acc	

Malang, 22 Mei 2019

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,



Drs. Abdul Basid, M.Si

NIP. 19650504 199003 1 003