

Skripsi

**PENGARUH SUHU TERHADAP KUALITAS KARBON TEMPURUNG
KEMIRI (*Aleurites moluccana*) TERAKTIVASI KOH SEBAGAI BAHAN
ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

FITRILYA

H31116001



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**PENGARUH SUHU TERHADAP KUALITAS KARBON TEMPURUNG
KEMIRI (*Aleurites moluccana*) TERAKTIVASI KOH SEBAGAI BAHAN
ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains*

Oleh:

FITRILYA

H31116001



MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**PENGARUH SUHU TERHADAP KUALITAS KARBON TEMPURUNG
KEMIRI (*Aleurites moluccana*) TERAKTIVASI KOH SEBAGAI BAHAN
ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

Disusun dan diajukan oleh:

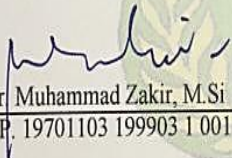
FITRILYA

H31116001

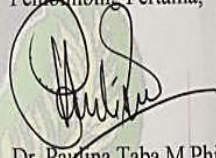
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kimia Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
pada tanggal 27 Mei 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

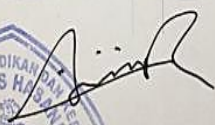
Pembimbing Utama,


Dr. Muhammad Zakir, M.Si
NIP. 19701103 199903 1 001

Pembimbing Pertama,


Dr. Paulina Taba, M.Phil
NIP. 19571115 198810 2 001

Ketua Departemen Kimia,


Dr. Abd. Karim, M.Si
NIP. 19620710 198803 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fitrilya
NIM : H311 16 001
Program Studi : Kimia
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

PENGARUH SUHU TERHADAP KUALITAS KARBON TEMPURUNG
KEMIRI (*Aleurites moluccana*) TERAKTIVASI KOH SEBAGAI BAHAN
ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 27 Mei 2021
Yang menyatakan,



Fitrilya

بِأَنفُسِهِمْ

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum, sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri (Q.S ArpRa'd: 11)

يُسِّرَ الْعُسْرَ مَعَ إِنَّ

Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. (Q.S Al-Insyirah: 6)

Dipersembahkan untuk kalian yang sedang berjuang menyelesaikan penelitian.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul **“Pengaruh Suhu Terhadap Kualitas Karbon Tempurung Kemiri (*Aleurites Moluccana*) Teraktivasi Koh Sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program strata satu (S1) di Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Penulis hendak menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada orang tua penulis, Ayahanda **Alimuddin** dan Ibunda **Hasmawati** yang telah mendidik penulis dengan doa dan kasih sayang yang tulus, dan semua keluarga atas dukungan, perhatian dan doanya kepada penulis.

Terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada Bapak **Dr. Muhammad Zakir, M.Si** selaku pembimbing utama dan Ibu **Dr. Paulina Taba, M.Phill** selaku pembimbing pertama yang telah berkenan meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing dan memberikan petunjuk dalam penyusunan skripsi.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak **Dr. Abdul Karim, M.Si** dan Ibu **St. Fauziah, S.Si, M.Si** selaku ketua dan sekretaris Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
2. Tim penguji ujian sarjana kimia **Dr. Seniwati, M.Si** (Ketua), **Dr. Djabal Nur Basir, M.Si** (Sekretaris), **Dr. Muhammad Zakir, M.Si** (anggota) dan **Dr. Paulina Taba, M.Phill** (anggota) atas saran dan kritikan yang diberikan.
3. Bapak **Dr. Muhammad Zakir, M.Si** yang telah memberikan nasehat, motivasi, semangat dan perhatiannya sebagai penasehat akademik selama perkuliahan.

4. Seluruh **Dosen Departemen Kimia** yang telah membagi ilmunya kepada penulis serta staf departemen kimia atas pelayanan administrasi akademik selama mengikuti perkuliahan.
5. Ibu **Dr. Paulina Taba, M.Phil** selaku Kepala Laboratorium Kimia Fisika yang telah memberikan izin pemakaian Laboratorium sebagai tempat penelitian dan **Pak Sugeng** yang selalu melayani peminjaman alat kimia serta **Ibu Tini, Pak Iqbal** dan **Kak Tanto** yang telah membantu dalam analisis FTIR, pengukuran CV, dan dalam analisis XRD.
6. Partner penelitian **Andi Ismul Maulana** atas bantuan dan kerja samanya dalam proses penelitian dan penyelesaian skripsi penelitian ini.
7. **Sahabat-sahabat Kimia 2016** untuk kebersamaan, motivasi, pengalaman dan persahabatannya selama ini, serta kakak-kakak dan adik-adik angkatan atas bantuan dan dukungannya.
8. Teman-teman seperjuangan penelitian dan Asisten di Laboratorium Kimia Fisika **Andi Ismul Maulana, Haswina Febrianti, Annisya Aprilia Achmad, Andi Alifa Ainun Aulia**, dan **Hendrick Serang** atas kebersamaan dan bantuannya.
9. Teman-teman **Pajokka** untuk kebersamaan dan selalu menghibur di masa-masa sulit penulis dalam proses penelitian
10. Teman **Strong Woman** untuk selalu mengingatkan ke jalan yang lebih baik dan membantu proses belajar penulis dari semester awal hingga semester akhir.
11. Terima kasih kepada **Kak Zakir, Kak Andi Nurul Mujahidah M. dan Kak Andi Novi Setia Budianti, Kak Faridhatun Solehah** yang selalu membantu dari awal penelitian hingga selesai.

12. Terima kasih kepada saudara **Pejantan Kromofor 2016** untuk selalu menemani dan membantu dalam proses penelitian penulis.

Penulis sadar bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan selanjutnya. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca dan para peneliti selanjutnya.

Makassar, Januari 2021

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu karbonisasi dan aktivasi karbon dan mengkarakterisasi sifat listrik dan struktur pori karbon berbasis tempurung kemiri sebagai elektroda superkapasitor melalui proses karbonisasi dan aktivasi kimia fisik. Proses karbonisasi dilakukan pada variasi suhu kisaran 600°C - 900°C selama 180 menit dan aktivasi dilakukan melalui perendaman selama 120 menit dengan KOH 25 % serta dipirolisis pada variasi suhu 800 °C, 850 °C dan 900 °C selama 45 menit. Efek aktivator KOH dapat meningkatkan pori karbon dengan luas permukaan spesifik, menurunkan kelembapan dan kadar abu karbon aktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas sebagian besar karbon aktif yang dihasilkan telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995). Analisis dengan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), *Scanning Electron Microscope* (SEM), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan Brunauer Emmet Teller - Barret Joyner Halenda (BET-BJH) dilakukan guna mengetahui gugus fungsi, morfologi permukaan material karbon, struktur dan ukuran kristal, serta mempelajari sifat struktural karbon aktif. Sampel karbon yang teraktivasi pada suhu 900°C ditemukan dengan struktur yang paling sesuai, yaitu memiliki luas permukaan tertinggi yaitu 486,86 m²/g dan ukuran pori rata-rata yaitu 1,2948 nm. Efek dari aktivator KOH dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik dengan nilai tertinggi pada scanrate 10 mV/s. Nilai kapasitansi spesifik dari material TK, KTK and KATK dalam larutan elektrolit Li₂SO₄ 1 M berturut-turut adalah 0,0108, 5,94 dan 12,14 mF/g sedangkan nilai kapasitansi spesifik dalam larutan elektrolit Na₂SO₄ 1 M berturut-turut adalah 0,0114, 4,64 dan 16,14 mF/g.

Kata kunci: aktivator KOH, Li₂SO₄, Na₂SO₄, suhu, tempurung kemiri.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the effect of carbonization temperature and carbon activation and characterize the electrical properties and pore structure of carbonaceous candlenut shell-based carbon as a supercapacitor electrode through the carbonization process and physical chemical activation. The carbonization process was carried out by varying the temperature range of 500°C - 900°C for 180 minutes and the activation was carried out by immersion for 120 minutes with 25% KOH and pyrolysis at temperature variations of 800°C, 850°C and 900°C for 45 minutes. The KOH activator effect can develop micropore and mesoporous carbon with a specific surface area, reduce humidity and ash content of activated carbon. Analyzes with Fourier Transform Infra-Red (FTIR), Scanning Electron Microscope (SEM), X-Ray Diffraction (XRD), Brunauer Emmet Teller - Barret Joyner Halenda (BET-BJH) were carried out to determine functional groups, surface morphology of carbon materials, crystal structure and size, and study the structural properties of activated carbon. The activated carbon sample at 900°C was found with the most suitable structure, which had the highest surface area of 486.86 m²/g and an average pore size of 1.2948 nm. The effect of the KOH activator can also increase the specific capacity value with the highest value of Na₂SO₄ electrolyte solution at a scan rate of 10 mV/s. The specific capacity values of TK, KTK, and KATK in the Li₂SO₄ electrolyte solutions respectively were 0,0108, 5,94 dan 12,14 mF/g, while the specific capacitance values in the Na₂SO₄ electrolyte solutions respectively were 0,0114, 4,64 dan 16,14 mF/g.

Keywords: KOH activator, Li₂SO₄, Na₂SO₄, temperature, candlenut shell.

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xvi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian.....	4
1.3.1 Maksud Penelitian.....	4
1.3.2 Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Superkapasitor	6
2.2 Karbon Aktif	8
2.3 Tempurung Kemiri Sumber Karbon Aktif	14
2.4 Pengaruh Suhu.....	17
2.5 Pengaruh Elektrolit Terhadap Nilai Kapasitansi Superkapasitor	19
BAB III	23
3.1 Bahan Penelitian.....	23
3.2 Alat Penelitian	23
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.4 Prosedur Penelitian.....	24
3.4.1 Pembuatan Larutan Pereaksi.....	24

3.4.2	Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kemiri	26
3.4.3	Pembuatan Elektroda Karbon	27
3.4.4	Karakterisasi Material	28
BAB IV		34
4.1	Analisis Proksimat.....	34
4.1.1	Analisis Proksimat Karbon Tempurung Kemiri	34
4.1.2	Analisis Proksimat Karbon aktif Tempurung Kemiri	36
4.2	Karakterisasi struktur dan ukuran kristal dengan XRD.....	37
4.3	Karakterisasi dengan FTIR dan Titrasi Boehm	40
4.4	Karakterisasi Morfologi dengan SEM.....	42
4.5	Karakterisasi Luas Permukaan, Diameter dan Volume Pori dengan Menggunakan Metode BET-BJH.....	44
4.6	Karakterisasi Nilai Kapasitansi Spesifik	49
BAB V		52
KESIMPULAN DAN SARAN.....		52
5.1	Kesimpulan.....	52
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN.....		62

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Konstruksi Superkapasitor	6
2. Ilustrasi Struktur Karbon Aktif	10
3. Mikropori, Mesopori dan Makropori dari Karbon Aktif	11
4. Hubungan Tekanan Relatif (P/Po) dengan Jumlah Teradsorpsi	13
5. Gugus Fungsional Berbasis Oksigen pada Permukaan Karbon Aktif	14
6. Morfologi permukaan karbon aktif tempurung kemiri perbesaran 10.000x dengan variasi suhu aktivasi a) 300°C, b) 400°C, c) 500°C dan d) 600°C	17
7. Klasifikasi Elektrolit Superkapasitor.....	20
8. Hasil Pengamatan Analisis Proksimat TK, KTK, dan KATK.....	37
9. Pola Difraksi XRD KTK.....	38
10. Pola Difraksi XRD Karbon Aktif Tempurung Kemiri	38
11. Spektrum FTIR dari TK, KTK dan KATK.....	40
12. Grafik Analisis Gugus Fungsi dengan Metode Titration Boehm.....	41
13. Morfologi Permukaan (a) TK, (b) KTK 700, (c) KATK 850, (d) KATK 900.....	42
14. Hasil EDX KATK 850 dan KATK 900.....	43
15. Grafik $1/[W/(Po/P)-1]$ Terhadap Tekanan Relatif	45
16. Hubungan Tekanan Relatif Terhadap Volume N ₂ yang Terserap Pada (a) TK, (b) KTK 700, (c) KATK 850, (d) KATK 900.....	47
17. Hubungan Diameter Pori Terhadap Volume N ₂ yang Teradsorpsi Pada TK, KTK, KATK 850, dan KATK 900	49
18. Voltammogram TK, KTK 700 dan KATK 900	51

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Parameter mutu karbon aktif.....	9
2. Jenis pori karbon aktif berdasarkan dimensi	11
3. Komponen kimia tempurung kemiri	14
4. Hasil Analisis Proksimat TK dan KTK.....	31
5. Derajat Kristalinitas Karbon Aktif Tempurung Kemiri	36
6. Luas Permukaan Spesifik dan Ukuran Pori TKi, KTK dan KATK 850 dan KATK 900	42
7. Analisis Nilai Kapasitansi Berbagai <i>Scanrate</i> Pada TK, KTK dan KATK.....	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	halaman
1. Diagram Alir Penelitian	62
2. Bagan Kerja.....	63
3. Perhitungan Pembuatan Larutan Pereaksi	68
4. Dokumentasi Penelitian.....	70
5. Penentuan Kadar Air	72
6. Penentuan Kadar Abu.....	75
7. Penentuan Kadar Volatil	78
8. Penentuan Kadar Karbon Tetap	81
9. Data Hasil Analisis XRD	84
10. <i>Database</i> JCPDS Karbon	91
11. Data Spektrum FTIR	92
12. Perhitungan Kadar Gugus Fungsi dengan Titrasi Boehm	97
13. Hasil Analisis SEM	107
14. Hasil Luas Permukaan BET-BJH.....	115
15. Perhitungan Kapasitansi Spesifik.....	123
16. Grafik Kapasitansi Spesifik KTK dan KATK.....	128

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/Singkatan	Arti
BET	Brunaur, Emmet and Teller
BJH	Barret-Joyner- Halenda
Csp	Kapasitansi Spesifik
CV	<i>Cyclic Voltammetry</i>
C	Kapasitansi
EDX	<i>Energy Disprive X-Ray</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
F/g	Farad per gram
JCPDS	<i>International Center for Diffraction Data</i>
KTK	Karbon Aktif Tempurung Kemiri
KATK	Karbon Aktif Tempurung Kemiri
m ² /g	Meter kuadrat per gram
mg/g	Miligram per gram
MJ/m ³	Mega joule per meter kubik
mF/g	Milifarad per gram
nm	Nanometer
Q	Muatan
SEM	Scanning Electron Microscope
TK	Tempurung Kemiri
U	Tegangan
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang sedang berkembang, penyediaan energi khususnya energi listrik merupakan faktor yang sangat penting dalam mendorong pembangunan. Penyediaan energi di masa depan merupakan permasalahan yang senantiasa menjadi perhatian karena kesejahteraan manusia dalam kehidupan modern sangat terkait dengan jumlah dan mutu energi yang dimanfaatkan (Tumimomor dkk., 2017). Saat ini kebutuhan manusia akan barang elektronik semakin meningkat, sehingga meningkat pula kebutuhan akan media penyimpan listrik (Safitri dkk., 2017).

Salah satu media penyimpanan energi adalah superkapasitor. Superkapasitor telah menarik perhatian karena mempunyai potensi yang besar untuk memenuhi kebutuhan energi tinggi dan kerapatan daya oleh banyak teknologi canggih (Zhou dkk., 2018). Superkapasitor memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan baterai dan kapasitor konvensional, diantaranya adalah waktu hidup yang lebih lama, prinsip dan modelnya yang sederhana, waktu pengisian yang pendek, aman dan memiliki rapat daya yang tinggi yaitu 10-100 kali lipat lebih besar dari baterai dan kapasitor (Fitriana, 2014).

Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat keefektifan superkapasitor adalah penggunaan bahan elektroda. Karbon aktif adalah salah satu jenis bahan yang secara luas telah digunakan sebagai bahan elektroda untuk superkapasitor karena bahan ini memiliki porositas yang tinggi, konduktivitas yang baik, kerapatan energi yang tinggi, biaya pembuatan yang

relatif murah dan kemampuan untuk mengfungsikan karbon aktif dalam mengoptimalkan sifat superkapasitornya (Dietz dan Nguyen, 2002; Hendriansyah dkk., 2018; Tetra dkk, 2018). Berbagai metode aktivasi dapat dilakukan untuk meningkatkan luas permukaan karbon aktif. Setiap metode tersebut akan menghasilkan luas permukaan karbon aktif yang berbeda. Berbagai penelitian pembuatan karbon aktif dengan berbagai metode aktivasi fisika maupun kimia yang menggunakan berbagai zat pengaktivasi (Pujiyanto, 2010).

Aktivasi fisika melibatkan dua langkah yaitu karbonisasi dan aktivasi pada suhu 700°C - 1100°C dengan adanya zat pengaktif yang sesuai seperti karbon dioksida (CO_2), uap, udara atau campurannya, sedangkan aktivasi kimia, prekursor dicampur dengan sejumlah bahan kimia tertentu seperti seng klorida (ZnCl_2), asam fosfat (H_3PO_4) dan kalium hidroksida (KOH) yang bertindak sebagai zat pengaktif. Proses aktivasi kimia dilakukan langkah yaitu karbonisasi (400°C – 700°C) dan langkah aktivasi secara bersamaan untuk mempersingkat waktu analisis yang digunakan, mengurangi konsumsi energi dan menghasilkan hasil produk yang lebih tinggi (Andas dkk., 2017).

Penelitian dengan menggunakan metode aktivasi kimia telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Kalderis dkk (2008) menggunakan aktivator ZnCl_2 pada karbon aktif yang dihasilkan dari ampas tebu menghasilkan bahan dengan luas permukaan sebesar $864 \text{ m}^2/\text{gram}$. Karbon aktif dari tempurung kelapa dengan penggunaan aktivator yang sama memiliki luas permukaan $632 \text{ m}^2/\text{g}$ (Pujiyanto, 2010). Aktivasi kimia dengan menggunakan KOH sebagai zat pengaktivasi menghasilkan karbon aktif dari limbah pinus dengan luas permukaan ($1908 \text{ m}^2/\text{g}$) yang lebih besar dibandingkan dengan ZnCl_2 (Garcia-Garcia dkk., 2002). Karbon aktif dari batubara *biomeneous* dengan

aktivator yang sama memiliki luas permukaan sebesar $1882 \text{ m}^2/\text{gram}$ (Pujiyanto, 2010).

Sumber karbon dapat diperoleh dari bahan baku lainnya seperti tempurung kemiri (Miller dan Simon, 2008; Maemunah dkk., 2018). Tanaman kemiri di daerah Indonesia hampir tersebar di seluruh Nusantara dengan produksi biji 79.137 ton/tahun (Lempang, 2009). Pengolahan dari kemiri dapat menghasilkan limbah tempurung mencapai sekitar $193,36 \text{ kg/ton}$ (Abineno dan Koyla, 2018). Tempurung kemiri merupakan material yang mengandung holoselulosa $49,22 \%$ dan lignin $54,46 \%$ sehingga berpotensi untuk pembuatan karbon aktif (Maemunah dkk., 2018).

Selain elektroda, elektrolit juga berperan dalam kinerja superkapasitor dengan itu performa sebuah superkapasitor dapat disesuaikan dengan mengubah sifat elektrolit (Taer dan Rika, 2016). Larutan elektrolit yang umum digunakan seperti larutan elektrolit H_2SO_4 dan KOH karena memiliki tahanan seri yang lebih rendah dan memiliki ukuran pori lebih kecil dibandingkan dengan larutan elektrolit asetonitril (Tetra dkk., 2018). Menurut Gao (2013), karbon aktif superkapasitor menggunakan larutan elektrolit natrium sulfat (Na_2SO_4) memungkinkan tegangan sel yang dicapai lebih tinggi ($1,6 \text{ V}$) daripada larutan elektrolit H_2SO_4 atau KOH , di mana tegangan maksimum umumnya sekitar $0,7 - 0,8 \text{ V}$. Secara keseluruhan, penggunaan alkali sulfat sebagai elektrolit menghilangkan sebagian efek korosi, dan memberikan peluang untuk mewujudkan superkapasitor dengan kepadatan energi tinggi yang ramah lingkungan, hemat biaya, dan aman (Gao, 2013).

Penelitian ini dilakukan pengembangan material elektroda karbon aktif tempurung kemiri pada suhu optimal sehingga dapat meningkatkan nilai kapasitansi dan diuji nilai kapasitansinya dalam larutan elektrolit garam Li_2SO_4

dan Na_2SO_4 . Karakterisasi yang dilakukan terdiri atas analisis kadar air, analisis kadar abu, analisis senyawa volatil, analisis karbon tetap, karakterisasi permukaan dengan SEM-EDX, analisis gugus fungsi dengan metode titrasi Boehm dan FTIR serta XRD untuk derajat kristalinitas, penentuan luas permukaan spesifiknya dengan BET-BJH, serta penentuan nilai kapasitansi spesifik elektroda menggunakan metode *Cyclic Voltammetry*.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. bagaimana pengaruh aktivator KOH terhadap sifat fisik dan kimia karbon aktif tempurung kemiri?
2. bagaimana pengaruh suhu optimum karbonisasi terhadap kualitas karbon aktif tempurung kemiri?
3. bagaimana pengaruh elektrolit Li_2SO_4 dan Na_2SO_4 terhadap nilai kapasitansi karbon aktif tempurung kemiri?

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud penelitian ini adalah untuk membandingkan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif tempurung kemiri dalam elektrolit Li_2SO_4 dan Na_2SO_4 sehingga dapat berpotensi sebagai material elektroda superkapasitor.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. menentukan pengaruh KOH terhadap sifat fisik dan kimia karbon aktif tempurung kemiri.

2. menentukan pengaruh suhu karbonisasi yang optimal terhadap kualitas karbon aktif tempurung kemiri.
3. membandingkan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif tempurung kemiri dalam berbagai elektrolit yaitu Li_2SO_4 dan Na_2SO_4 .

1.4. Manfaat Penelitian

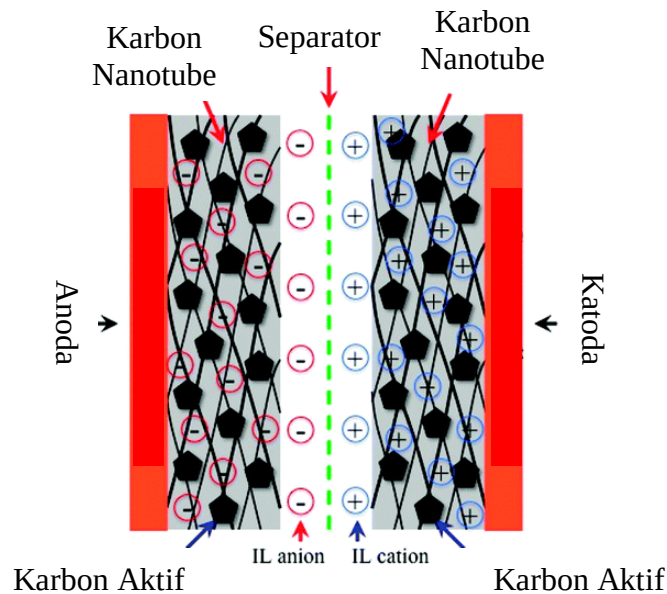
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terhadap pembuatan karbon aktif dari tempurung kemiri, memberikan data mengenai pengaruh suhu struktur karbon aktif tempurung kemiri dan pengaruh aktivator terhadap sifat fisik dan kimia karbon aktif tempurung kemiri, serta memberikan informasi mengenai karakteristik karbon aktif tempurung kemiri dalam elektrolit Li_2SO_4 dan Na_2SO_4 sebagai bahan penyimpanan energi elektrokimia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Superkapasitor

Kapasitor elektrokimia juga disebut superkapasitor atau ultrakapasitor yang menyimpan energi dalam medan listrik dari lapisan ganda elektrokimia (Kotz dan Carlen 2000). Superkapasitor merupakan teknologi baru untuk menyimpan energi modern yang dikembangkan dari kapasitor konvensional (Riyanto, 2014). Superkapasitor telah digunakan secara luas sebagai alat penyimpan energi pada bidang elektronik dan transportasi, seperti sistem telekomunikasi digital, komputer dan *pulse laser system*, *hybrid electrical vehicles*, dan sebagainya (Burke, 2000).



Gambar 1. Konstruksi Superkapasitor (Lu dkk., 2011)

Gambar 1 menunjukkan superkapasitor yang tersusun dari dua kolektor arus, material elektroda dengan luas permukaan yang besar, membran semi-permiabel, dan cairan elektrolit. Separator berada diantara elektroda positif dan negatif, yang

mencegah kontak listrik. Ketika proses pengisian, kedua elektroda diisi secara berurutan (Zhou, 2012).

Superkapasitor memanfaatkan permukaan elektroda yang luas dan bahan dielektrik yang tipis untuk mencapai nilai kapasitansi yang jauh lebih besar daripada kapasitor konvensional (Riyanto, 2014). Kepadatan energi dan masa pakai pada baterai isi ulang konvensional ditemukan berkurang dengan meningkatnya kepadatan daya, dan kapasitor konvensional mempunyai kapasitas yang terlalu rendah untuk menghasilkan energi yang cukup (Zhu dkk., 2007). Hal ini memungkinkan superkapasitor akan memiliki rapat energi yang jauh lebih besar dibanding dengan kapasitor konvensional dan memiliki rapat daya jauh lebih besar daripada baterai, sehingga superkapasitor akan menjadi solusi yang sangat baik sebagai piranti penyimpanan energi (Riyanto, 2014)

Superkapasitor mampu bertahan lama meskipun diisi ulang berkali-kali serta mempunyai kemampuan mengisi ulang dengan cepat dapat menggantikan pemakaian baterai. Waktu yang dibutuhkan dalam pengisian ulang sangat singkat sehingga superkapasitor mempunyai potensi yang besar dibandingkan baterai. Hal ini dapat terjadi karena baterai harus mengubah energi listrik menjadi bentuk kimia agar energi dapat tersimpan (Lu dkk., 2011). Keunggulan superkapasitor dibanding dengan baterai yaitu kepadatan energi yang lebih tinggi, siklus hidup yang lebih panjang, impedansi yang rendah, dan waktu pengisian atau pengecasan yang cepat (Riyanto, 2014; Jayalaxmi dan Balasubramanian, 2008)

Beberapa kelebihan dari sistem penyimpanan energi superkapasitor yaitu lebih ringan dari baterai dengan ukuran yang lebih kecil, akses cepat ke energi yang tersimpan. Siklus *charge/discharge* 10^6 kali dari baterai, kepadatan energi untuk superkapasitor adalah 10-100 kali lebih besar dari kapasitor konvensional

(tipe 20-70 MJ/m³), nilai kapasitansi superkapasitor hingga 5 F/cm², siklus hidup 25-30 tahun, efisiensi tinggi yaitu 95 %, waktu *charge* dan *discharge* sangat singkat, nilai kapasitansi mulai dari 0,043-2700 F, tegangan nominal mulai dari 2,3 hingga 400 V, nilai arus berkisar antara 3-600 A, suhu pengoperasian berkisar -40°C - 85°C, bebas perawatan, arus bocor sangat rendah, juga bersifat non polar (Sahay dan Dwiedi, 2009). Superkapasitor tidak mengandung bahan korosif dan mengandung lebih sedikit bahan yang beracun sehingga aman digunakan bagi masyarakat (Miller dan Simon, 2008).

Kapasitansi (C) dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jarak antara elektroda dan luas permukaan elektroda. Luas permukaan elektroda serta tipisnya membran elektrolit membuat kapasitor memiliki nilai kapasitansi yang tinggi (Young dkk., 2003).

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{D} \quad (1)$$

Persamaan (1) menunjukkan nilai kapasitansi (C) kapasitor berbanding lurus dengan luas permukaan (A) dari setiap elektroda dan berbanding terbalik dengan jarak (D) antara elektroda. Sedangkan ϵ_r adalah konstanta dielektrik medium dan ϵ_0 adalah permitivitas vakum ($8,854 \times 10^{-12}$ F/m) (Halper dan Ellenbogen, 2006).

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah material berpori dengan kandungan karbon 87 % - 97 % dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulfur, dan material lain. Karbon aktif merupakan karbon yang telah diaktivasi sehingga terjadi pengembangan struktur pori yang bergantung dengan metode aktivasi yang digunakan (Austin, 2006). Karbon aktif adalah karbon bentuk mikrokristalin dan *nongraphitic*. Analisis sinar-X dari karbon aktif menunjukkan struktur yang jauh lebih teratur daripada

grafit, hanya memiliki beberapa lapis kristalit dengan ketebalan kurang dari 10 nm (Smisek dan Cerny, 1970)

Produk karbon aktif yang telah dihasilkan melalui tahapan karbonisasi dan aktivasi, baik aktivasi kimia maupun aktivasi fisika harus memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) tahun 1995 yang telah ditentukan. Syarat analisis karbon aktif yang telah diproduksi sesuai pada Tabel 1.

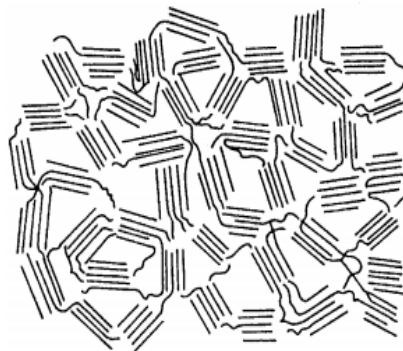
Tabel 1. Parameter Mutu Karbon Aktif (SNI 06-3730-1995)

Parameter mutu (%)	Syarat Mutu Karbon Aktif
Kadar Air	< 15 %
Kadar Abu	< 10 %
Kadar Zat Volatil	< 15 %
Kadar Karbon Tetap	> 65%
Penyerapan Iodium	200 mg/g

Penentuan mutu karbon aktif ditentukan melalui analisis proksimat yang meliputi kadar air, kadar abu dan kadar volatil. Kadar air merupakan salah satu faktor penentu kualitas karbon aktif. Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui tingkat higroskopisitas sampel. Pengujian kadar air secara teori menyatakan bahwa dengan semakin meningkatnya suhu karbonisasi maka kadar air yang terkandung pada karbon semakin kecil dikarenakan air dalam bentuk *moisture* akan lebih banyak menguap ketika suhu karbonisasi dinaikkan (Hartanto dan Ratnawati, 2010), sedangkan pengujian kadar abu secara teori menyatakan bahwa dengan semakin meningkatnya suhu karbonisasi maka kadar abu yang terkandung pada karbon akan semakin besar karena bahan akan banyak terbakar dan menyisakan abu. Abu merupakan material yang tidak dapat menguap ketika dipanaskan pada suhu tinggi (Putro dkk., 2015). Kadar volatil adalah persentase zat yang mudah menguap ketika dipanaskan pada suhu tinggi (suhu 950°C)

dengan melibatkan oksigen yang terbatas. Gas yang terkandung pada kadar volatil diantaranya gas hidrokarbon, metana dan karbon monoksida. Secara teori semakin meningkatnya suhu karbonisasi maka kadar volatil yang terkandung pada karbon semakin kecil karena suhu tinggi menyebabkan lebih banyak zat yang menguap sehingga kandungan volatil pada karbon semakin kecil (Rasyidi, dkk., 2011).

Struktur dasar karbon aktif berupa struktur kristalin yang sangat kecil (mikrokristalin) (Sudibandriyo, 2003). Struktur kristal dari karbon aktif akan semakin tinggi seiring dengan tingginya persentase derajat kristalinitas. Derajat kristalinitas merupakan tingkat keteraturan struktur material yang diperoleh dari perbandingan fraksi luas kristalin dengan jumlah antara fraksi luas kristalin dan fraksi luas amorf (Hussain dkk., 2000). Tingginya persentase derajat kristalinitas menunjukkan struktur karbon aktif jauh dari struktur amorf sehingga memperlihatkan bahwa suatu material akan memiliki struktur kristal, semi-kristal ataupun amorf (Kartika dkk., 2016). Menurut Sudibandriyo (2003), karbon aktif memiliki bentuk amorf yang tersusun atas lapisan bidang datar dimana atom-atom karbon tersusun dan terikat secara kovalen dalam tatanam atom-atom heksagonal. Gambar 2 menunjukkan skema struktur karbon aktif. Setiap garis pada gambar menunjukkan lapisan atom-atom karbon yang berbentuk heksagonal dan adanya mikrokristalin dengan struktur grafit pada karbon aktif (Sudibandriyo, 2003).



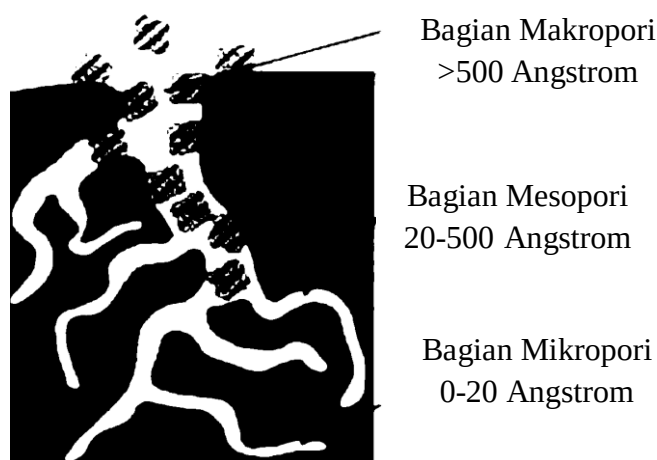
Gambar 2. Ilustrasi Struktur Karbon Aktif (Sudibandriyo, 2003).

Menurut definisi IUPAC, pori-pori dapat dibedakan menjadi tiga kelompok sehubungan dengan dimensi pori dari karbon aktif (Reinose dkk., 1985). Tabel 2 dan Gambar 3 menunjukkan jenis pori karbon aktif berdasarkan diameter porinya.

Tabel 2. Jenis Pori Karbon Aktif berdasarkan Dimensi (Reinose dkk., 1985).

Jenis Pori	Diameter pori
Makropori	$> 50 \text{ nm}$ ($> 500 \text{ \AA}$)
Mesopori	$2 - 50 \text{ nm}$ ($20-500 \text{ \AA}$)
Mikropori	$0 - 2 \text{ nm}$ ($0 - 20 \text{ \AA}$)

Kebanyakan karbon aktif mengandung pori-pori dengan ukuran berbeda yaitu mikropori, mesopori dan makropori transisi. Bahan ini dianggap sebagai adsorben dengan beragam aplikasi.



Gambar 3. Mikropori, Mesopori dan Makropori dari Karbon Aktif (Reinose dkk, 1985).

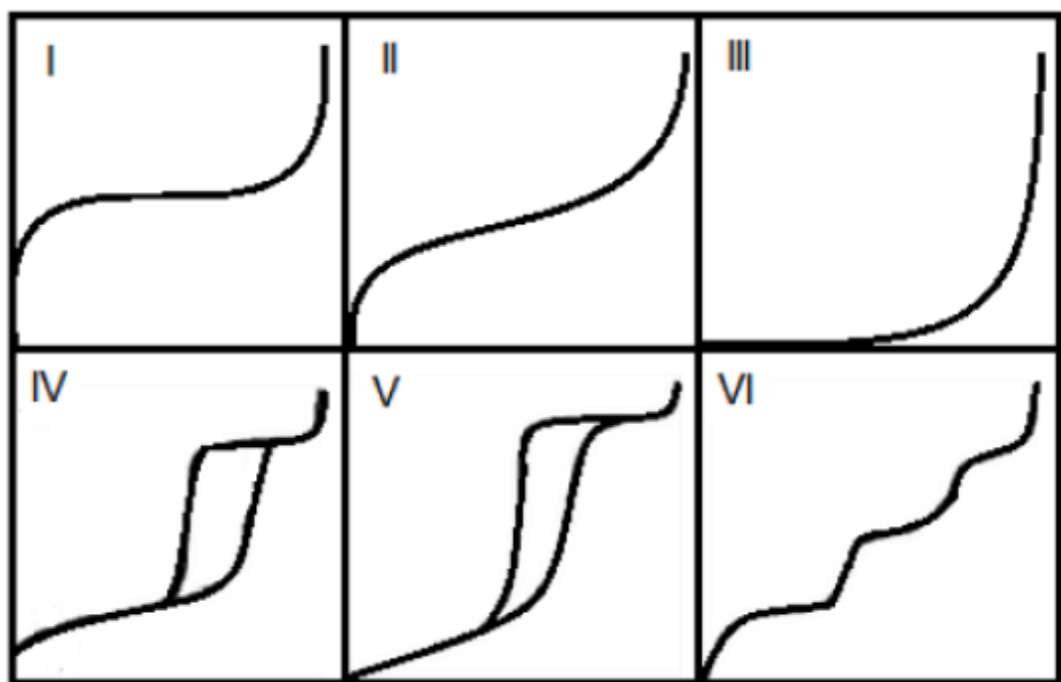
Umumnya karbon aktif berbentuk granular (butir) dan serbuk. Karbon aktif berbentuk serbuk halus memiliki distribusi ukuran partikel $5-10 \mu\text{m}$ dan untuk karbon yang berbentuk granular memiliki ukuran $0,8 - 1,2 \text{ mm}$. Porositas dan luas permukaan karbon aktif ditentukan oleh efisiensi adsorpsi dari karbon aktif (Setyadhii dkk., 2005). Isotermal adsorpsi merupakan grafik hubungan antara

massa adsorbat dan jumlah yang teradsorpsi pada suhu tertentu. Berikut ini adalah klasifikasi isothermal adsorpsi menurut IUPAC (Sing dkk., 1985):

1. tipe I, disebut sebagai isothermal Langmuir yang mencapai nilai maksimum adsorpsi dimana ketajaman kemiringan isothermal dari P/P_0 menunjukkan ukuran mikropori. Isothermal tipe I umumnya berlangsung pada adsorben yang luas permukaannya kecil dan ukuran porinya didominasi oleh mikropori. Contoh adsorpsi yang termasuk dalam isothermal tipe I adalah adsorpsi nitrogen oleh karbon pada 77 K dan adsorpsi amonia pada arang pada 273 K.
2. tipe II, menggambarkan adsorpsi pada 2 kondisi yaitu pada permukaan adsorben dengan permukaan terbuka dan mikropori. Isothermal ini menunjukkan kurva berubah dari cekung ke cembung yang menandakan cakupan monolayer berakhir dan adsorpsi multilayer dimulai. Isothermal tipe ini terjadi pada adsorben non-poris atau makroporis. Adsorpsi fisika gas oleh padatan tak berpori termasuk dalam klasifikasi isothermal tipe II.
3. tipe III, berbentuk cembung dan khas dari adsorpsi pada situs dengan potensi adsorpsi rendah, seperti sistem polimer organik. Plot grafik dari isothermal tipe III menghasilkan bentuk konveks terhadap tekanan relatif. Isothermal tipe ini umumnya berlangsung pada adsorben tak berpori dan adsorben berpori mikro.
4. tipe IV, Isotherm tipe IV dikaitkan dengan monolayer – multilayer adsorpsi karena mengikuti jalur yang sama dengan bagian yang sesuai dari isotherm Tipe II, dengan ukuran pori yang tergolong mesopori. Isothermal tipe IV memiliki *hysteresis loop*. Tipe isothermal ini memiliki bentuk unik untuk tiap sistem adsorpsi.
5. tipe V, merupakan tipe isothermal dengan karakteristik memiliki energi rendah, homogen dan terjadi pada adsorben dengan pori berukuran mesopori. Tipe

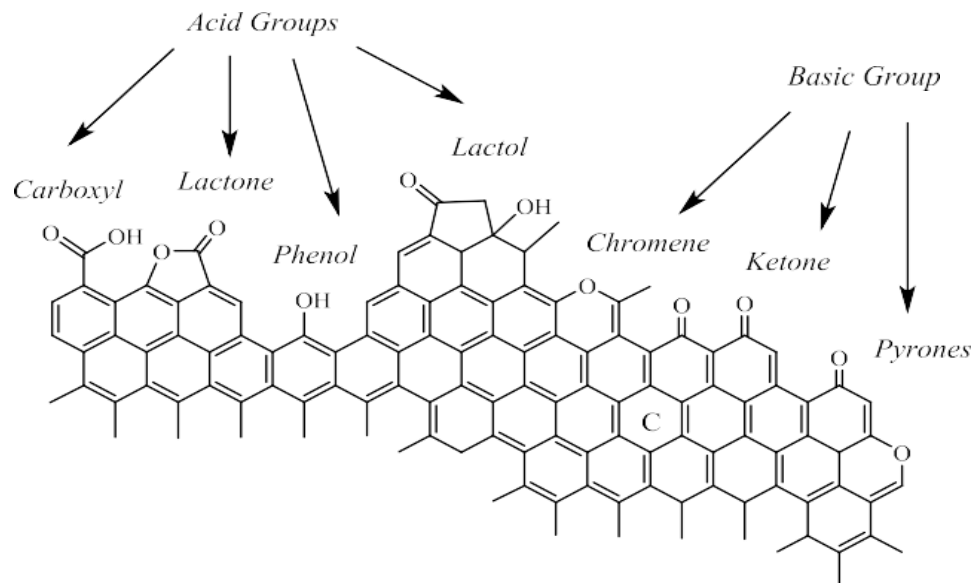
isotermal ini juga terjadi pada padatan dengan ukuran mikropori. Contoh adsorpsi yang mengikuti isotermal ini adalah adsorpsi molekul air pada karbon.

6. tipe VI, mencirikan isotermal pada permukaan yang sangat homogen seperti grafit pirolitik. Isotermal tipe VI sering dikenal sebagai isotermal hipotetik. Contoh adsorpsi yang mengikuti isotermal tipe VI adalah adsorpsi krypton oleh karbon hitam pada 90 K.



Gambar 4. Hubungan Tekanan Relatif (P/P_o) dengan Jumlah yang Teradsorpsi (mmol/g)

Karbon aktif mengandung sejumlah kecil hidrogen dan oksigen. Menurut Montes-Moran dkk., (2004), gugus fungsional oksigen paling sering muncul pada permukaan karbon. Atom oksigen bergabung ke atom karbon membentuk senyawa organik yang luas, seperti asam karboksilat, keton dan ester. Secara umum dibagi menjadi dua kelompok yang membentuk karakter asam atau basa dalam larutan air seperti pada Gambar 5:



Gambar 5. Gugus Fungsional Berbasis Oksigen Pada Permukaan Karbon Aktif (Montes-moran dkk., 2004)

Gugus fungsi ini dapat berasal dari bahan baku karbon aktif. Selain itu, gugus fungsi pada karbon aktif juga terbentuk selama proses aktivasi karena adanya interaksi radikal bebas antara permukaan karbon dengan oksigen atau nitrogen yang berasal dari atmosfer. Fungsi ini menyebabkan permukaan karbon aktif reaktif secara kimia dan dapat mempengaruhi sifat adsorpsinya (Sudibandriyo, 2003).

2.3 Tempurung Kemiri Sumber Karbon Aktif

Tanaman kemiri dengan nama latin *Aleurites moluccana* (L) (Wild) merupakan tanaman asli Indo-Malaysia yang telah dibudidayakan secara luas, baik untuk tujuan komersial maupun menunjang kehidupan sehari-hari masyarakat terutama masyarakat Indonesia (Krisnawati dkk., 2011). Tanaman kemiri dapat tumbuh pada berbagai iklim di lingkungan bersuhu 21°C - 27°C dengan curah hujan rata-rata berkisar 640-4290 mm dan rata-rata kelembapan sekitar 75 % (Duke, 1983; Yulianti dan Kuniawati, 2004). Kemiri merupakan salah satu tanaman tahunan yang termasuk dalam famili *Euphorbiaceae* (jarak-

jarakan). Daging buah kemiri kaku dan juga mengandung 1-2 biji yang diselimuti oleh kulit biji yang keras (Halimah, 2016). Menurut Krisnawati dkk (2011), tanaman kemiri dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Divisi : Spermatophyta

Subdivisi : Angiospermae

Kelas : Dicotyledoneae

Ordo : Archichlamydae

Familia : Euphorbiaceae

Genus : *Aleurites*

Spesies : *Aleurites moluccana*

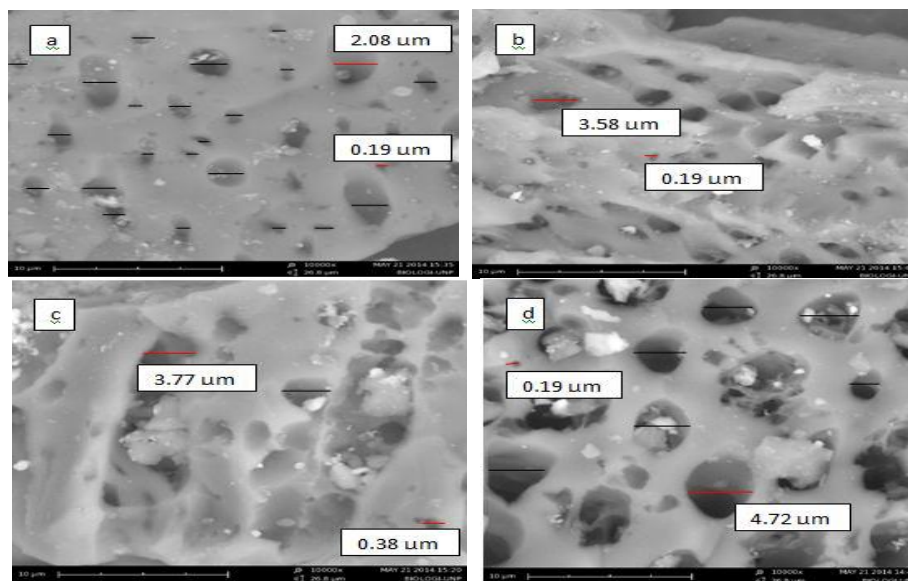
Tempurung kemiri merupakan limbah organik yang dapat diuraikan namun teksturnya cukup keras sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk menguraikannya secara alamiah (Maulana dan Agustina, 2017). Di daerah Sulawesi Selatan kemiri dapat tumbuh pada daerah yang kering dengan curah hujan tahunan mencapai 200 mm (Ginoga dkk., 1989). Tahun 2014 produksi kemiri diperoleh sebesar 0,6 ton/Ha yang menghasilkan limbah yang banyak berupa tempurung mencapai 193,36 kg/ton (Abieneno dan Koyla, 2018). Ketebalan tempurung kemiri berkisar 3 mm - 5 mm, sifatnya keras dan memiliki nilai kalor tinggi mencapai 4920,25 kal/gr. Hal ini menunjukkan bahwa energi yang terkandung pada tempurung kemiri sebesar 4.920 kkal/ton sebesar 4164 kal/g, sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam pengeringan biji kemiri (Setiawan dan Yang, 1992). Tabel 3 menunjukkan komponen kimia yang terkandung pada tempurung kemiri yaitu heloselulosa, pentosan, lignin dan abu (Fengel dan Wegener, 1995):

Tabel 3. Komponen kimia tempurung kemiri (Fengel dan Wegener, 1995).

No.	Komponen	Kadar (% dari berat kayu)
1	Heloselulosa	49,22
2	Pentosan	14,55
3	Lignin	54,56
4	Ekstraktif: - Larut air dingin - Larut air panas - Larut alkohol-bonzena - Larut NaOH 1%	1,96 6,18 2,69 17,14
5	Abu	8,73

Pada umumnya masyarakat menjadikan tempurung kemiri sebagai limbah, tetapi sebenarnya mempunyai kegunaan yang cukup bermanfaat sebagai bahan baku pada pembuatan arang aktif karena kandungan hemiselulolosa dan lignin yang tinggi. Arang aktif dimanfaatkan oleh berbagai industri antara lain industri minyak, karet, gula, dan farmasi. Selama ini hanya digunakan sebagai pembangkit tenaga uap dan bahan pengeras jalan. Arang aktif dapat dibuat melalui karbonisasi pada suhu 550°C selama kurang lebih 3 jam. Karakteristik karbon aktif yang dihasilkan memenuhi standar Industri Indonesia, dengan daya serap larutan ionnya sebesar 28,9 % (Fauzi dkk., 2012).

Secara umum semakin tinggi suhu aktivasi, maka jumlah pori yang dihasilkan semakin banyak. Jumlah pori yang lebih banyak menyebabkan luas permukaan karbon aktif menjadi lebih besar. Selain itu meningkatnya suhu aktivasi menyebabkan terjadinya perubahan struktur, hal ini terjadi karena berkurangnya senyawa hidrokarbon pada permukaan arang dan terbentuknya senyawa aromatik yang merupakan dasar penyusun struktur kristalin heksagonal arang aktif (Darmawan dkk., 2009, Pari, 1996).



Gambar 6. Morfologi Permukaan Karbon Aktif Perbesaran 10.000 X dengan Variasi Suhu Aktivasi a). 300°C, b). 400°C, c). 500°C dan d). 600°C (Nurdiati dan Astuti, 2015).

Gambar 6 menunjukkan karakterisasi menggunakan SEM dari karbon aktif tempurung kemiri dengan variasi suhu aktivasi yaitu 300°C, 400°C, 500°C dan 600°C terdapat perbedaan bentuk. Gambar 6a merupakan sampel karbon dengan waktu aktivasi 300°C mempunyai jumlah pori yang sedikit dan dangkal, sedangkan karbon aktif dengan suhu aktivasi 400°C dan 500°C menunjukkan jumlah pori-pori yang lebih banyak dibandingkan dengan karbon dengan suhu aktivasi 300°C, dan Gambar 6d karbon yang diaktivasi dengan suhu 600°C dimana terlihat jumlah pori lebih banyak dan dengan pori yang dalam. Ukuran pori terkecil yang diperoleh dari hasil pengukuran secara manual yaitu 0,19 μm pada suhu aktivasi 300°C dan diperoleh ukuran pori terbesar 4,72 μm pada suhu aktivasi 600°C (Nurdiati dan Astuti, 2015).

2.4 Pengaruh Suhu

Kualitas karbon dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu suhu karbonisasi dalam menguraikan karbon yang terkandung pada selulosa, hemiselulosa dan

lignin yang akan berpengaruh pada nilai kalor yang dihasilkan. Sebagai bahan bakar, karbon harus memiliki laju pembakaran yang baik. Laju pembakaran dipengaruhi oleh kecepatan udara yang berpengaruh terhadap pencapaian temperatur pembakaran maksimum dan lamanya pembakaran (Handayani dan Suryaningsih, 2019).

Menurut Handayani dan Suryaningsih (2019), kecepatan udara berpengaruh terhadap laju pembakaran arang, semakin tinggi kecepatan udara maka temperatur pembakaran akan semakin rendah karena panas temperatur akan ikut terbang seiring bertambahnya kecepatan udara pada sampel. Temperatur akan berbanding lurus dengan massa, kenaikan temperatur dapat menyebabkan massa sampel lebih cepat habis yang berdampak pada pendeknya waktu proses pembakaran sehingga laju pembakaran akan semakin besar. Selain itu laju pembakaran juga dipengaruhi oleh densitas karbon, semakin besar densitas karbon maka pori-pori sampel (briket) akan lebih padat sehingga uap air dan laju pembakaran sulit untuk berdifusi yang berdampak pada lamanya waktu proses pembakaran karbon.

Proses pembuatan karbon aktif merupakan proses sederhana meliputi proses karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi merupakan proses penguraian selulosa menjadi karbon pada suhu berkisar 275°C. Proses karbonisasi terdiri atas 4 tahap yaitu (Sudrajat dan Salim, 1994):

1. penguapan air berlangsung pada suhu 100°C – 120°C dan penguapan selulosa terjadi pada suhu 270°C. Destilat yang dihasilkan mengandung asam organik dan sedikit metanol.
2. reaksi eksotermik berlangsung pada suhu 270°C – 310°C. Selulosa terurai menjadi larutan pirolignat, gas kayu (CO dan CO₂), dan sedikit tar.

3. peningkatan jumlah gas CO, CH₄ dan H₂ serta tar pada suhu 310°C - 510°C dan penurunan jumlah asam pirolignat dan CO₂.
4. peningkatan kadar karbon terjadi pada suhu 500°C – 1000°C.

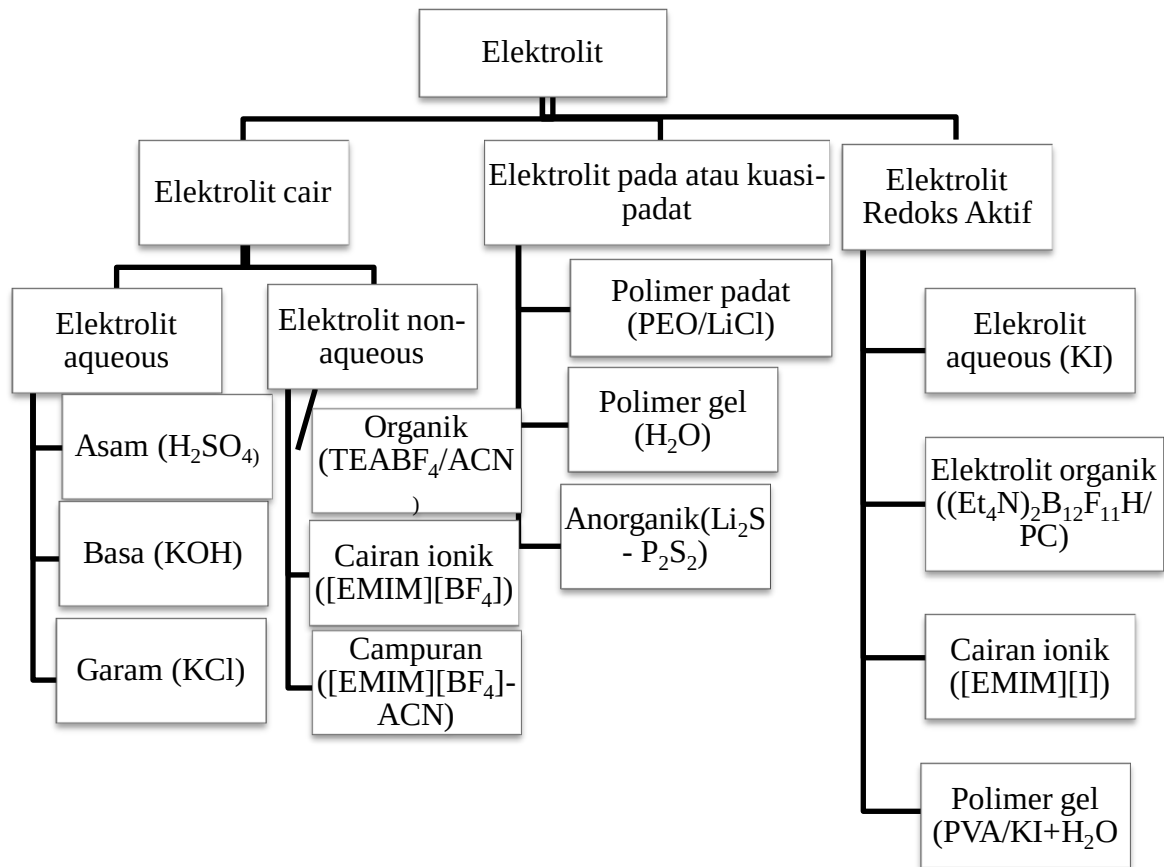
Menurut Gonzales dkk. (2009), komponen utama biomassa lignoselulosa terdegradasi pada berbagai macam suhu. Hemiselulosa terdegradasi dimulai sekitar suhu 200°C - 260°C dan degradasi selulosa terjadi sekitar 240°C - 350°C. Lignin lebih termostabil dibandingkan selulosa dan hemiselulosa, suhu berkisar antara 280°C - 800°C untuk dekomposisi selulosa, namun tidak semua interval suhu ini sama untuk setiap bahan lignoselulosa. Hal lain yang mempengaruhi penurunan berat biomassa selama pirolisis yaitu konstituen anorganik, ekstraktif minor dan efek katalitik.

Pembuatan karbon aktif dapat dilakukan secara pirolisis. Pirolisis diartikan sebagai pembakaran tanpa berhubungan dengan udara luar. Pirolisis pada umumnya dialiri pada suhu 200°C dan pada suhu sekitar 450°C – 500°C. Pirolisis suatu biomassa akan menghasilkan tiga macam produk, yaitu produk gas, cair dan padat (Danarto dkk., 2010).

2.5 Pengaruh Elektrolit Terhadap Nilai Kapasitansi Superkapasitor

Elektrolit adalah larutan yang mengandung ion berperan sebagai media elektrik konduktif. Larutan elektrolit umumnya bersifat asam, basa, ataupun garam (Boyea dkk, 2007). Elektrolit sangat berpengaruh dalam kinerja superkapasitor dalam mencapai kerapatan daya dan energi yang meliputi: *double-layer capacitor*, *pseudocapacitors*, dan *superkapasitor hibrida*. (Boyea dkk., 2007; Zhong dkk., 2015). Gambar 7 adalah klasifikasi elektrolit pada

superkapasitor yaitu, cair, organik, ion, keadaan padat atau kuasi-padatan, serta elektrolit redoks aktif (Zhong dkk., 2015).



Gambar 7. Klasifikasi Elektrolit Superkapasitor (Zhong dkk., 2015).

Sebagai bahan yang paling menonjol dalam kinerja superkapasitor elektrokimia, elektrolit yang tersedia secara komersial menggunakan elektrolit organik. Elektrolit organik memiliki beberapa keuntungan seperti tegangan operasi yang luas dan meningkatkan performa dari superkapasitor (Ramachandran dan Wang, 2017). Perbandingan antara elektrolit dan elektrolit organik yaitu elektrolit lebih mahal, mudah terbakar, dan beracun misalnya penggunaan pelarut asetonitril sebagai pelarut organik tidak baik untuk lingkungan (Ramachandran dan Wang, 2017; Tetra dkk., 2018).

Penambahan zat adiktif pada elektrolit mempengaruhi kinerja elektrokimia seperti pada kemampuan pengisian daya, siklus pemakaian, penyimpanan dan

kinerja keselamatan. Hal ini terutama disebabkan oleh peran yang dimainkan oleh bahan tambahan yang sesuai yang menstabilkan antarmuka elektrolit padat untuk mengurangi reaksi elektrolit (oksidasi atau reduksi) dan melindungi pelepasan ion logam transisi dari bahan katoda (Zhao dkk., 2017).

Konduktivitas ionik elektrolit berperan penting dalam resistansi internal superkapasitor. Pentingnya ukuran ion elektrolit harus sama atau kurang dari ukuran pori bahan elektroda untuk memiliki kapasitansi tinggi dan kepadatan daya yang tinggi (Simon dan Yogotsi, 2008). Untuk beberapa kasus, rentang tegangan kerja akan bergeser berdasarkan pada titik beku dan viskositas elektrolit yang mempengaruhi stabilitas termal kinerja superkapasitor (Zheng dkk., 2005; Girard dkk., 2005). Konduktivitas ionik membran elektrolit dipengaruhi oleh suhu. Ada beberapa persamaan yang menyatakan hubungan antara konduktivitas ionik dengan suhu, antara lain persamaan Arrhenius, William-Landel-Ferry (WLF), dan Vogel-Tamman-Fulcher (VTF). Persamaan WLF banyak digunakan untuk menjelaskan hubungan antara konduktivitas ionik dengan suhu melalui model volume bebas (*free volum model*) (Marfuatum, 2011).

Beberapa keunggulan larutan elektrolit yaitu resistensi yang lebih rendah, biaya produksi yang murah, stabil dalam suhu ruangan dan jika menggunakan elektroda dengan karbon aktif yang diperkaya dengan heteroatom (N, O dan P), kapasitansi dapat ditingkatkan melalui reaksi redoks antara fungsi permukaan elektroda dan larutan elektrolit (Demarconnay dkk., 2010; Qu dkk., 2008). Selain itu, superkapasitor yang menggunakan larutan elektrolit menunjukkan kapasitansi yang lebih tinggi dan daya yang lebih besar karena konsentrasi ion yang tinggi dan jari-jari ion yang kecil (Wang dkk., 2012). Larutan elektrolit yang biasa digunakan sebagai elektrolit superkapasitor adalah asam, basa dan

garam (Lota dkk., 2013). Potensi kerja superkapasitor sangat bergantung pada stabilitas elektrokimia elektrolit (Jiang dkk., 2012), karena interaksi yang melibatkan elektroda dan elektrolit berperan penting dalam kinerja superkapasitor keseluruhan, selain dari tegangan operasi, elektrolit secara substansial telah mempengaruhi parameter lain seperti kepadatan daya, stabilitas bersepeda, suhu pengoperasian, resistansi seri yang setara, masa hidup, dan tingkat pengurangan muatan kapasitor (Yang dkk., 2004).

Menurut penelitian Qu dkk (2008), kinerja elektrokimia karbon aktif dalam 0,5 mol/L Li_2SO_4 , Na_2SO_4 dan K_2SO_4 elektrolit berair diperoleh hasil voltametri siklik pada laju pemindaian yang berbeda menunjukkan bahwa perilaku laju karbon aktif dalam tiga elektrolit meningkat dalam urutan $\text{Li}_2\text{SO}_4 < \text{Na}_2\text{SO}_4 < \text{K}_2\text{SO}_4$. Peningkatan nilai kapasitansi disebabkan karena:

1. penurunan resistensi seri setara dalam urutan $\text{Li}_2\text{SO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{K}_2\text{SO}_4$, merupakan faktor utama yang mempengaruhi daya output maksimum, dan
2. meningkatnya kecepatan perpindahan dari ion terhidrasi dalam mengumpulkan elektrolit di dalam pori-pori elektroda karbon aktif dalam urutan $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+$.

Superkapasitor ini menunjukkan kepadatan energi tinggi 35 W h/kg dan pemakaian yang sangat baik. Kelebihan material elektroda dengan elektrolit berbasis Na^+ dan K^+ lebih mudah tersedia dan lebih murah dari pada yang berbasis Li^+ .