

**PENGARUH LARUTAN ELEKTROLIT ALKALI SULFAT TERHADAP  
KAPASITANSI SPESIFIK KARBON TEMPURUNG KEMIRI (*Aleurites  
moluccana*) TERAKTIVASI H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>**

**A. NURUL MUJAHIDAH MUHAMMADIYAH**

**H311 15 308**



**DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2019**



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

**PENGARUH LARUTAN ELEKTROLIT ALKALI SULFAT TERHADAP  
KAPASITANSI SPESIFIK KARBON TEMPURUNG KEMIRI (*Aleurites  
moluccana*) TERAKTIVASI H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>**

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

**Oleh:**

**A. NURUL MUJAHIDAH MUHAMMADIYAH**

**H311 15 308**



**MAKASSAR**

**2019**



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## PRAKATA

*Alhamdulillah Rabbil 'alamin*, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah *Subhanahu wa Ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **"Pengaruh Larutan Elektrolit Alkali Sulfat terhadap Kapasitansi Spesifik Tempurung Kemiri (*Aleurites Moluccana*) Teraktivasi  $H_3PO_4$ "**. Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Kimia S1, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

*Asshalatu wassalam 'ala Rasulillah*, salam dan shalawat semoga tetap tercurah kepada Nabi Muhammad *Shallallahu 'Alaihi wasallam*, seorang manusia terbaik yang pernah ada di muka bumi ini, dialah utusan Allah yang membawa perbaikan bagi alam semesta dan seisinya terkhusus kepada manusia agar tak salah arah dalam menentukan hidupnya.

Kemudian, penulis dengan tulus hati dan rasa hormat menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua tercinta, Ayahanda **Muh. Akib Muhammadiyah**, Ibunda **Andi Herawati P**, dan Kakakku tersayang **Muh. Rizal Pahlefy dan Zul Ikram Al-Hafidz** atas do'a dan dorongan semangat yang telah diberikan. Demikian pula keluarga besarku atas dukungannya yang senantiasa mengiringi langkah penulis.

Ucapan terimakasih kepada dosen pembimbing, Bapak **Dr. Muh. Zakir, M.Si** selaku pembimbing utama dan Ibu **Dr. Paulina Taba, M.Phill** selaku

ing pertama yang telah sabar memberikan bimbingan dan arahan mulai pembuatan proposal sampai penyelesaian skripsi ini. Ucapan terimakasih juga



1. Ketua dan Sekertaris Jurusan Kimia Bapak **Dr. Abdul Karim, M. Si** dan Ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** dan seluruh Dosen jurusan Kimia, serta staf dan pegawai atas bimbingan dan bantuan dalam proses perkuliahan maupun dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Dosen Penguji, Bapak **Abdurrahman Arif, S.Si, M.Si** dan Ibu **Syadza Firdausiah, S.Si, M.Sc**, terima kasih atas saran dan masukannya.
3. **Pak Sugeng, Kak Fibi, Ibu Tini, Kak Linda, Kak Hanna, Kak Anti, Kak Rahma** dan **Pak Iqbal**, terima kasih atas bantuan yang diberikan.
4. **Pak Sangkala** dan **Pak Suardi**, terima kasih atas bantuan yang diberikan dalam mengurus berkas sidang.
5. Partner penelitian **Andi Novi Setiana Budi** atas bantuan dan kerja samanya dalam proses penelitian dan penyelesaian skripsi ini.
6. Rekan-rekan **Peneliti Kimia Fisika S1 (Gita, Eka, Irwan, Riskawati, Putu Santini, Yasinta, Ghia, Fira, Ojan dan Getsi)**.
7. Teman-teman **THE CHOCHOL (Trihas** si cerdas tapi suka bicara tolo, **Iqriah** yang suka nge-Gas dan Bucin Oppa-oppa Korea, **Gita** si dengkor tapi lumayan bijak, **Neli** si Hajja tidak mapan, **Cica** si panik, **Lhia** si kecil tidak besar-besar tapi selalu mau antar pulang, dan **Niel** si hitam dari Toraja) yang telah rela menjadi teman saya dari maba sampai sekarang, Love you full.
8. Teman-teman **LAMBE NYINYIR (Gita** si ibu ndoro, **Ghia** si muka garang tapi hati Hello Kitty, **Qiyadah** si selingkuhannya Lee Yong Dae, **Iqriyah** si membuat stiker, **Juntak** mamanya Moly, **Mila** si bungsu, **Eka** sang Mama



dari Lambe, **Neli** yang kalau bicara pasti membully, **Elsye** si tukang tidur dan **Cica** si penakut dan selalu khawatir yang suka lap Hp).

9. **PRIA-PRIA KECE** (**Niel** kalau ngomong kayak bahasa alien, **Ojan** tukang ojek andalan tapi selalu ngehina, **Ono** paling cepat tersinggung, dan **Syafрил** yang jati dirinya masih dipertanyakan).
10. Teman-teman **OTW** (**Mba Lala** bucinnya Chen EXO tapi menuju ditinggal nikah, **Mila** si peternak lele, **Yulinar** si Ukhty tapi 1 kali bicara langsung nyakko, dan **Niluh** si pintar tapi kadang terlewat pintar sehingga bisa bicara tolo).
11. Terima kasih kepada **Kak Akbar** yang telah memberikan secara ikhlas ilmunya.
12. Terima kasih kepada **Koko Ronald** yang selalu siap kalau ditanya dan membantu mengerjakan tugas serta pasangan setinya, yaitu **Aul** yang rumahnya siap ku tempati untuk dijemput.
13. Seluruh teman-teman **Polihedra** dan **Kimia Angkatan 2015**.
14. Terima kasih kepada **Pak Taufik** dan **Om Parkiran** yang senantiasa menjaga motor saya dan meminjamkan helm.
15. Semua pihak yang tidak sempat tertulis namanya yang telah memberikan dukungan maupun bantuan kepada penulis.

Semoga segala bentuk bantuan, yaitu do'a, saran, motivasi dan pengorbanan yang telah diberikan kepada penulis dapat bernilai ibadah dan diganjarkan pahala di sisi Allah *Subhanahu wa Ta'ala*. Aamiin Allahumma Amin.

Makassar, November 2019

Penulis



## ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan karbon aktif dari tempurung kemiri. Pembuatan karbon aktif dari tempurung kemiri ini melewati proses karbonisasi dan aktivasi karbon. Karbonisasi dilakukan dengan suhu 750 °C selama 90 menit dan aktivasi dilakukan perendaman dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 2,5 %. Efek dari aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dapat menurunkan kelembapan, kadar abu, serta meningkatkan luas permukaan material karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas sebagian besar arang aktif yang dihasilkan telah memenuhi standar nasional Indonesia SNI 06-3730-1995. Analisis dengan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan guna mengetahui gugus fungsi, morfologi permukaan material karbon serta struktur dan ukuran kristal. Efek dari aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> juga dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik dengan nilai tertinggi pada larutan elektrolit Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada scanrate 10 mV/s. Nilai kapasitansi spesifik KTK dalam larutan elektrolit Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> adalah 0,030837 F/g, 0,020575 F/g dan 0,007588 F/g sedangkan nilai kapasitansi spesifik KATK dalam larutan elektrolit Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> adalah 0,053383 F/g, 0,047851 F/g dan 0,033619 F/g.

**Kata kunci:** Tempurung Kemiri, Aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Kapasitansi Spesifik.



## ABSTRACT

In this research, the manufacture of activated carbon from candlenut shells was carried out. The making of activated carbon from the candlenut shell passes through carbonization and carbon activation processes. Carbonization was carried out at 750 °C for 90 minutes and activation was immersed with 2,5% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. The effect of the H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> activator can reduce humidity, ash content, and increase the surface area of carbon material. The results showed that the quality of most of the activated charcoal produced had met the Indonesian National Standard SNI 06-3730-1995. Analysis with Fourier Transform Infra-Red (FTIR), Scanning Electron Microscope (SEM) and X-Ray Diffraction (XRD) was carried out to determine the functional groups, surface morphology of carbon material and the structure and size of crystals. The effect of the H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> activator can also increase the specific capacitance value with the highest value in the Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> electrolyte solution at a scanrate of 10 mV/s. The specific capacitance values of KTK in Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> electrolyte solutions are 0,030837 F/g, 0,020575 F/g and 0,007588 F/g while the KATK specific capacitance values in Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> electrolyte solutions are 0,053383 F/g, 0,047851 F/g and 0,033619 F/g.

**Keywords:** Candlenut Shell, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Activator, Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Specific Capacitance.





## DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA.....	iv
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	6
1.3.1 Maksud Penelitian.....	6
1.3.2 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>8</b>
2.1 Superkapasitor Sebagai Penyimpana Energi Elektrokimia ...	8
2.2 Karbon Aktif.....	10
2.3 Tempurung Kemiri Sebagai Sumber Karbon Aktif.....	13
2.4 Pengaruh Elektrolit terhadap Nilai Kapasitansi.....	16
<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>23</b>



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 .....	22
3.4.1.1 Pembuatan Larutan Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 0,05 N.....	24
3.4.1.2 Pembuatan Larutan NaHCO <sub>3</sub> 0,05 N .....	24
3.4.1.3 Pembuatan Larutan NaOH 0,05 N .....	24
3.4.1.4 Pembuatan Larutan HCl 0,05 N.....	24
3.4.1.5 Pembuatan Larutan Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> 0,05 N .....	25
3.4.1.6 Pembuatan Larutan H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,05 N .....	25
3.4.1.7 Standarisasi Larutan HCl dengan Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> 0,05 N .....	25
3.4.1.8 Pembuatan Larutan NaOH dengan H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,05 N .....	25
3.4.1.9 Pembuatan Larutan Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 M .....	26
3.4.1.10 Pembuatan Larutan Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 M .....	26
3.4.1.10 Pembuatan Larutan K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 M .....	26
3.4.1.11 Pembuatan Larutan Metilen Biru 5000 ppm .....	26
3.4.1.12 Pembuatan Larutan Metilen Biru 50 ppm.....	27
3.4.1.13 Pembuatan Larutan Metilen Biru 0,5, 1, 2, 4, 8 ppm.....	27
3.4.2 Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kemiri .....	27
3.4.2.1 Preparasi Sampel .....	27
3.4.2.2 Karbonisasi Tempurung Kemiri .....	27
3.4.2.3 Aktivasi Karbon Tempurung Kemiri .....	28
3.4.3 Pembuatan Elektroda .....	28



3.4.4 Karakterisasi Material .....	28
3.4.4.1 Penentuan Kadar Air .....	28
3.4.4.2 Penentuan Kadar Abu .....	29
3.4.4.3 Penentuan Luas Permukaan .....	29
3.4.4.4 Karakterisasi Permukaan Material dengan SEM .....	30
3.4.4.5 Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR .....	31
3.4.4.6 Karakterisasi Struktur dan Ukuran Kristal dengan XRD.....	31
3.4.4.7 Karakterisasi Kadar Gugus Fungsional Asam dan Basa Total dengan Metode Titrasi Boehm.....	31
3.4.4.8 Penentuan Kapasitansi Spesifik dengan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> .....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHSAN .....</b>	<b>34</b>
4.1 Karbonisasi dan Aktivasi Karbon Tempurung Kemiri .....	34
4.2 Analisis Kadar Air dan Kadar Abu Material Karbon .....	36
4.3 Karakterisasi dengan FTIR dan Titrasi Boehm .....	38
4.4 Karakterisasi Luas Permukaan .....	43
4.5 Karakterisasi dengan SEM .....	44
4.6 Karakterisasi dengan XRD .....	45
4.7 Analisis Kapasitansi Spesifik Karbon Tempurung Kemiri dan Karbon Aktif Tempurung Kemiri .....	48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA .....	54
DAFTAR LAMPIRAN .....	61
	xi



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Rangkaian superkapasitor secara umum .....	8
2. Karakteristik pola XRD dari sampel mkarbon nanopori dengan suhu aktivasi 950 °C sampai 1150 °C .....	12
3. Skema proses <i>charging/discharging</i> dalam superkapasitor .....	17
4. Voltammogram siklik pada laju pemindaian yang berbeda (masing-masing 1, 10 dan 100 mVs <sup>-1</sup> ) dengan nilai kapasitansi untuk kapasitor karbon-karbon yang beroperasi dalam 1 molL <sup>-1</sup> larutan logam alkali (Li, Na, K) sulfat .....	20
5. Kapasitansi vs muatan untuk berbagai larutan logam alkali sulfat ...	21
6. Reaksi aktivator H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> pada material karbon .....	35
7. Reaksi pengikatan air oleh <i>Phosphorus(V) Oxide</i> .....	36
8. Grafik analisis kadar air dan kadar abu KTK dan KATK .....	36
9. Spektrum FTIR dari Karbon Tempurung Kemiri dan Karbon Aktif Tempurung Kemiri .....	38
10. Beberapa spesies gugus fungsional berbasis oksigen pada permukaan karbon aktif .....	39
11. Diagram analisis gugus fungsi dengan metode titrasi Boehm .....	41
12. Reaksi penetralan pada gugus fungsi oksigen pada metode Titrasi Boehm .....	42
13. Perbandingan kapasitas adsorpsi KTK dan KATK .....	43
14. Perbandingan luas permukaan KTK dan KATK .....	43
15. (a) Hasil SEM KTK perbesaran 10000x dan (b) Hasil SEM KATK perbesaran 10000x .....	44
16. Grafik karakterisasi XRD KTK (suhu karbonisasi 750 °C) dan KATK (setelah diaktivasi dengan H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) .....	46



17. Kurva <i>Scanrate</i> vs Kapasitansi spesifik KTK dalam larutan elektrolit $\text{Li}_2\text{SO}_4$ , $\text{Na}_2\text{SO}_4$ dan $\text{K}_2\text{SO}_4$ 0,5 M .....	49
18. Kurva <i>Scanrate</i> vs Kapasitansi spesifik KATK dalam larutan elektrolit $\text{Li}_2\text{SO}_4$ , $\text{Na}_2\text{SO}_4$ dan $\text{K}_2\text{SO}_4$ 0,5 M .....	50



## DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Standar kualitas karbon aktif menurut SNI 06-3730-1995 .....	12
2. Komposisi kimia tempurung kemiri ( <i>Aleurites moluccana (L.) Wild</i> )	15
3. Spektrum IR sampel Karbon Tempurung Kemiri dan Karbon Aktif Tempurung Kemiri .....	39
4. Hasil analisis nilai kapasitansi pada berbagai <i>scanrate</i> pada karbon tempurung kemiri .....	48
5. Hasil analisis nilai kapasitansi pada berbagai <i>scanrate</i> pada karbon aktif tempurung kemiri .....	50



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	halaman
1. Diagram Alir Penelitian .....	61
2. Bagan Kerja .....	62
3. Dokumentasi Penelitian .....	67
4. Perhitungan Pembuatan Larutan Pereaksi .....	69
5. Data Spektrum FTIR .....	72
6. Hasil SEM .....	74
7. Hasil Analisis XRD .....	76
8. <i>Database</i> JCPDS Karbon .....	83
9. Perhitungan Kadar Air .....	84
10. Perhitungan Kadar Abu .....	86
11. Perhitungan Luas Permukaan dengan Metode Metilen Biru .....	88
12. Perhitungan Kadar Gugus Fungsi dengan Titrasi Boehm .....	91
13. Perhitungan Kapasitansi Spesifik .....	97
14. Grafik Voltammogram Kapasitansi Spesifik KTK dan KATK .....	101



## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/Singkatan	Arti
AC	<i>Activated Carbon</i>
CRMD	Centre de Recherche Sur la Matière Divisée
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
FTIR	Fourier Transform Infra Red
SEM	Scanning Electron Microscope
EDL	<i>Electrical Double-Layer</i>
PRI	Pinnacle Research Institute
$m^2/g$	Meter kuadrat per gram
$kg/m^3$	Kilogram per meter kubik
EDLC	<i>Electrochemical Double Layer Capacitor</i>
E	Kepadatan energi
U	Tegangan
C	Kapasitansi
ESR	<i>Equivalent Series Resistance</i>
CV	<i>Cyclic Voltammetry</i>
EIS	<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>
V	Volt
$mV/s$	<i>Milivolt per second</i>
KTCK	Karbon Tempurung Kemiri
	Karbon Aktif Tempurung Kemiri
	Nanometer





JCPDS	<i>Joint Committee on Powder Diffraction Standards</i>
ICDD	<i>International Center for Diffraction Data</i>
rad	Radian
F/g	Faraday per gram



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penyediaan energi di masa depan merupakan permasalahan yang senantiasa menjadi perhatian semua bangsa karena kesejahteraan manusia dalam kehidupan modern sangat terkait dengan jumlah dan mutu energi yang dimanfaatkan. Penyediaan energi khususnya energi listrik di Indonesia yang merupakan salah satu negara yang sedang berkembang merupakan faktor yang sangat penting dalam mendorong pembangunan. Menurut Muhammad (2005), pemakaian energi listrik selama kurun waktu tahun 2000 sampai dengan tahun 2025 diperkirakan meningkat rata-rata 7,1% per tahun.

Sejumlah besar teknologi berbasis energi secara elektrokimia telah dikembangkan. Sistem ini terus dioptimalkan dalam hal biaya, kinerja, dan waktu jangka panjang. Teknologi yang lebih mapan seperti baterai dalam siklus pengisian daya dan teknologi sensor bergabung dengan teknologi yang muncul seperti sel bahan bakar, baterai litium-ion dalam ukuran besar, reaktor elektrokimia, membran transpor ion, dan superkapasitor (Badwal dkk., 2014).

Permintaan yang meningkat untuk sistem energi secara elektrokimia bersama dengan meningkatnya perkembangan sejumlah teknologi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penelitian secara global. Beberapa teknologi energi elektrokimia dikembangkan dan dikomersialkan di masa lalu termasuk

...nia untuk keselamatan manusia, efisiensi energi, proses industri/kontrol dan pengendalian/pemantauan polusi. Selain itu terdapat berbagai jenis



sel bahan bakar sebagai perangkat energi bersih untuk transportasi, stasioner dan daya portabel; berbagai baterai penyimpanan energi; reaktor elektrokimia untuk bahan bakar dan produksi bahan kimia; membran transport ion untuk pemisahan udara; dan superkapasitor (Badwal., dkk 2014).

Baterai dan superkapasitor adalah perangkat sistem penyimpanan energi listrik terkemuka saat ini. Keduanya didasarkan pada mekanisme elektrokimia. Baterai menyimpan energi listrik dalam senyawa kimia yang mampu menghasilkan muatan, sedangkan superkapasitor menyimpan energi listrik secara langsung sebagai muatan. Li dkk., (2011) mengemukakan bahwa dalam beberapa tahun terakhir, superkapasitor sangat menarik perhatian dalam teknologi penyimpanan energi listrik karena memiliki kerapatan energi yang lebih tinggi dibandingkan kapasitor konvensional dan kerapatan daya yang lebih tinggi dibandingkan baterai. Keuntungan lain dari superkapasitor adalah tingkat pengisian yang cepat dan umur siklus pengisian yang panjang (Zuleta 2005).

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 memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, ketahanan kimia, konduktivitas listrik yang baik dan harga yang terjangkau (Babel dan Jurewicz 2004; Fellman 2010; Aripin dkk., 2010).

Bahan baku yang dapat digunakan untuk pengolahan karbon aktif, persyaratannya adalah mengandung unsur karbon, baik organik maupun anorganik dan yang memiliki banyak pori-pori. Bahan baku yang dapat digunakan termasuk limbah perkebunan seperti tempurung kelapa, tempurung kemiri, limbah pertanian, limbah tambang, kayu atau limbah kayu, gambut, hasil pertanian dan limbah



peternakan. Bahan-bahan tersebut mempunyai karakteristik yang lebih baik dibandingkan dari bahan non biomassa atau fosil. Hal ini disebabkan antara lain oleh kemudahan proses pengolahannya dan kualitas hasilnya untuk berbagai aplikasi (BPS, 2002).

Tempurung kemiri merupakan limbah organik yang dapat diuraikan namun teksturnya cukup keras sehingga waktu yang lama dibutuhkan untuk menguraikannya secara alamiah. Berbagai upaya dilakukan untuk memanfaatkan limbah tempurung kemiri. Selain untuk menanggulangi penumpukkan, limbah tempurung kemiri juga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan produk yang aman dan ramah lingkungan. Dengan memperhatikan faktor lingkungan tersebut, tempurung kemiri dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif (Meilita dan Tuti, 2003).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa persentase massa buah kemiri menjadi tempurungnya adalah sebesar 64,57% dan tergolong sangat tinggi bila dibandingkan dengan tempurung kelapa dan tempurung kelapa sawit yang tidak lebih dari 30%. Hal ini tentunya menunjukkan bahwa tempurung kemiri memang sangat potensial untuk dijadikan bahan baku karbon aktif (Suhadak, 2005). Selain itu, karbon aktif tempurung kelapa memiliki struktur yang sebagian besar mikropori, sehingga kurang efektif digunakan untuk menyerap senyawa yang berdiameter makropori (Actech, 2002 dalam Pari, 2004).

Karbon aktif dapat dibuat melalui dua tahap, yaitu tahap karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi merupakan proses pengurangan dalam ruangan tanpa adanya

dan bahan kimia lainnya, sedangkan aktivasi diperlukan untuk mengubah karbonisasi menjadi adsorben yang memiliki luas permukaan yang besar (Pari dkk., 2012).



Sifat karbon aktif selain dipengaruhi oleh jenis bahan baku, luas permukaan, penyebaran pori dan sifat kimia permukaan karbon aktif, juga dipengaruhi oleh cara aktivasi yang digunakan. Pada tahap aktivasi, arang direndam terlebih dahulu dengan menggunakan bahan pengaktif antara lain  $ZnCl_2$ ,  $KOH$ ,  $NaCl$ ,  $H_2SO_4$  dan  $H_3PO_4$ , dimana peneliti sebelumnya mengemukakan bahwa  $H_3PO_4$  sebagai agen aktivasi akan memberikan hasil terbaik jika dibandingkan dengan  $ZnCl_2$  (Grigis dkk., 2002). Penggunaan  $ZnCl_2$  sebagai activator saat ini menurun karena masalah pencemaran lingkungan dibandingkan dengan  $H_3PO_4$  yang banyak digunakan dalam industri pembuatan karbon aktif karena limbahnya mudah terurai, biaya rendah dan tingginya rendamen karbon aktif yang dihasilkan (Montoya dan Petriciolet, 2012).

Karbon aktif telah luas digunakan sebagai material penyimpan energi salah satunya superkapasitor disebabkan luas permukaannya yang besar, stabil dan mudah terpolarisasi. Kepadatan energi superkapasitor dapat ditingkatkan dengan meningkatkan tegangan dan kapasitansi. Untuk mencapai tujuan ini, berbagai strategi telah diusulkan dalam literatur, yang melibatkan pengembangan bahan baru, geometri baru dan elektrolit baru. Sebagian besar superkapasitor yang tersedia di pasaran didasarkan pada elektroda karbon aktif (AC) dan elektrolit organik. Meskipun teknologi karbon aktif dalam elektrolit organik sekarang sudah berkembang, pengembangan dengan menggunakan karbon berpori baru dan atau formulasi elektrolit diperlukan. Selain itu, solusi alternatif yang berdasarkan jenis lain harus diselidiki untuk mengembangkan sistem yang lebih baik atau lebih murah (Gao, 2013).



Penelitian terbaru yang dilakukan oleh *Energy/Environment Group in CRMD* menunjukkan bahwa karbon aktif superkapasitor memiliki tegangan sel yang lebih tinggi dalam larutan natrium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) dibandingkan dalam larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  atau  $\text{KOH}$  (Gao, 2013). Analisis elektrokimia karbon rumput laut dalam  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,5 mol/L menunjukkan bahwa bahan elektroda dan pH elektrolit mempengaruhi nilai kapasitansi dan stabilitas beda potensial karena adanya fungsi nitrogen dalam karbon ini. Beda potensial yang dicapai 2,4 V dalam 0,5 mol/L  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (Bichat dkk., 2010). Dalam larutan elektrolit  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  nilai kapasitansi spesifik dari karbon tinggi hingga  $1000 \text{ Fg}^{-1}$  (Lang dkk., 2011). Setelah membandingkan berbagai larutan alkali sulfat pada suhu kamar, daya dan kepadatan energi yang terbesar diperoleh untuk karbon aktif kapasitor simetris yang beroperasi dalam larutan elektrolit  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Secara keseluruhan, penggunaan alkali sulfat sebagai elektrolit menghilangkan sebagian efek korosi, dan ini memberikan peluang untuk menghasilkan superkapasitor dengan kepadatan energi tinggi yang ramah lingkungan, hemat biaya, dan aman (Gao, 2013).

Beberapa penelitian mengenai kinerja elektrokimia karbon aktif sebagai penyimpanan energi superkapasitor telah dilakukan dalam elektrolit seperti larutan elektrolit organik (Gao, 2013), larutan elektrolit netral (Bichat dkk., 2010), larutan elektrolit ionik (Lin dkk., 2011), elektrolit asam dan basa (Lee dkk., 2013), larutan elektrolit asetat (Piwek dkk., 2016), dan elektrolit *redoks-additive* (Zhang dkk., 2018). Larutan garam seperti alkali asetat ( $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) belum banyak diaplikasikan sebagai larutan elektrolit terutama dalam penentuan

si spesifik karbon aktif tempurung kemiri.



Pada penelitian ini, penentuan kapasitansi spesifik karbon aktif tempurung kemiri dilakukan dalam larutan elektrolit  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{K}_2\text{SO}_4$  sehingga elektrolit yang baik dalam meningkatkan nilai kapasitansi elektroda karbon aktif pada superkapasitor dapat ditentukan. Adapun karakterisasi yang dilakukan terdiri atas analisis kadar air, analisis kadar abu, penentuan luas permukaan dengan menggunakan metilen biru dan spektrofotometer UV-Vis, karakterisasi permukaan dengan SEM, analisis gugus fungsi dengan metode titrasi Boehm dan FTIR, analisis struktur dan ukuran kristal dengan *X-Rays diffraction*, serta penentuan nilai kapasitansi spesifik elektroda menggunakan *Cyclic Voltammetry*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu:

1. bagaimana pengaruh aktivator  $\text{H}_3\text{PO}_4$  terhadap sifat fisik dan kimia karbon aktif tempurung kemiri?
2. bagaimana pengaruh larutan elektrolit  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{K}_2\text{SO}_4$  terhadap nilai kapasitansi spesifik karbon aktif tempurung kemiri?

## 1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

### 1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud penelitian ini adalah untuk menentukan atau membandingkan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif tempurung kemiri dalam larutan elektrolit litium sulfat ( $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ), natrium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), dan kalium sulfat ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) sehingga diperoleh larutan elektrolit yang baik untuk elektroda superkapasitor.



### 1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. menentukan pengaruh  $H_3PO_4$  terhadap sifat fisik dan kimia karbon aktif tempurung kemiri
2. menentukan pengaruh larutan elektrolit  $Li_2SO_4$ ,  $Na_2SO_4$ , dan  $K_2SO_4$  terhadap nilai kapasitansi spesifik karbon aktif tempurung kemiri dengan metode *Cyclic Voltammetry*.

### 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 aktivator terhadap sifat fisik dan kimia karbon aktif tempurung kemiri, dan memberikan informasi mengenai data karakteristik karbon aktif tempurung kemiri sebagai bahan penyimpanan energi elektrokimia dalam larutan elektrolit  $Li_2SO_4$ ,  $Na_2SO_4$ , dan  $K_2SO_4$ .



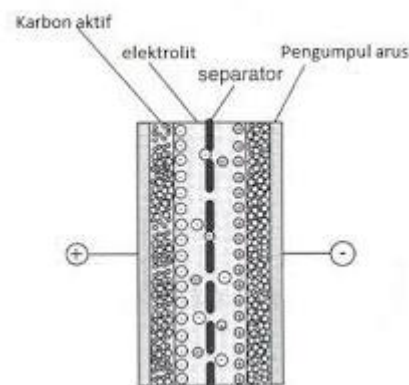


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Superkapasitor sebagai Penyimpanan Energi Elektrokimia

Superkapasitor adalah perangkat penyimpan energi yang mirip dengan baterai. Berbeda dengan baterai, superkapasitor dapat memberikan rapat daya ( $>10\text{kWkg}^{-1}$ ) dengan proses pengisian dan pengosongan muatan yang cepat dan tingkat kestabilan yang tinggi ( $>10^6$  siklus) (Vangari dkk, 2012). Teknologi karbon yang digunakan pada kapasitor ini menciptakan area permukaan yang sangat besar dengan jarak pemisah yang sangat kecil. Superkapasitor terdiri atas dua elektroda yang direndam dalam larutan konduktif atau polimer konduktif yang disebut elektrolit. Elektroda dipisahkan oleh pemisah/separator berbahan dielektrik yang bukan hanya untuk mencegah agar tidak terjadi tumpang tindih muatan pada kedua elektroda tetapi juga memiliki sifat listrik yang mempengaruhi kinerja superkapasitor. Rangkaian superkapasitor diperlihatkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Rangkaian superkapasitor secara umum (Syarif, 2014)



Menurut Vuorilehto & Nuutinen (2014), komponen utama dari rangkaian kapasitor adalah:

- a. aluminium tipis/aluminium foil yang dilekatkan dengan elektroda, aluminium foil ini juga berfungsi sebagai pengumpul arus/*current collector*
- b. elektroda yang berupa karbon dengan luas permukaan yang tinggi dan bersifat konduktif dan ditambahkan binder atau perekat, sehingga bila muatan listrik dihubungkan pada material, medan listrik yang dihasilkan berfungsi seperti dielektrik yang membentuk lapisan ganda listrik dimana ketebalan lapisan ganda listrik tersebut setipis molekul.
- c. separator/pemisah yang berupa plastik atau kertas yang direndam dengan elektrolit cair.

Bila potensial listrik diterapkan pada kedua elektroda, maka perbedaan potensial terjadi pada antarmuka elektroda-elektrolit. Antarmuka elektrostatis ini terdiri atas lapisan ganda antara ion dalam elektrolit dan muatan elektronik pada elektroda. Pada superkapasitor, penyimpanan energi disebabkan oleh pemisahan muatan elektronik dan ion pada antarmuka antara elektroda aktif permukaan-permukaan yang tinggi dan larutan elektrolit.

Superkapasitor (atau kapasitor elektrokimia, atau ultrakapasitor), berdasarkan elektroda karbon aktif, sebagian besar menyimpan muatan dalam lapisan ganda listrik (EDL) yang terbentuk diantara permukaan elektroda/elektrolit (Beegun dan Frackowiak, 2013). Keuntungan utama dari superkapasitor melibatkan kepadatan daya tinggi dan siklus hidup yang hampir tidak terbatas (Gao, 2013).

Paten pertama superkapasitor menggunakan elektroda karbon berpori

media larutan yaitu pada tahun 1957 oleh Becker yang ditugaskan ke *Electric* (Becker, 1957). Pada 1980-an, banyak perusahaan memproduksi



perangkat seperti kapasitor emas oleh Matsushita, *dynacap* oleh Elna, ultrakapasitor PRI yang dirancang untuk aplikasi militer seperti persenjataan laser dan sistem panduan rudal (Pandolfo dkk., 2006; Sharma dan Bhatti, 2010). Sejak tahun 2000, superkapasitor telah secara efektif meresap dalam aplikasi industri sebagian besar termasuk mobil, trem, bus, *crane*, *forklift*, turbin angin, perataan beban listrik dalam sistem stasioner dan transportasi (Beeguin dan Frackowiak, 2013).

## 2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan padatan berpori yang dibuat dari bahan baku yang mengandung karbon dengan proses khusus sehingga memiliki permukaan yang aktif dan bersifat selektif pada penggunaannya. Proses khusus dalam pembuatan karbon aktif meliputi proses aktivasi fisika dan aktivasi kimia yang dapat membuat pori-pori dari bahan baku terbuka sehingga daya serapnya lebih besar dari karbon biasa. Karbon aktif merupakan karbon amorf dengan luas permukaan sekitar 300 sampai 2000 m<sup>2</sup>/gr. Luas permukaan karbon aktif besar karena material ini mempunyai struktur pori-pori, sehingga karbon aktif mempunyai kemampuan untuk menyerap (Surest dkk., 2008).

Karbon aktif banyak digunakan dalam berbagai aplikasi elektrokimia salah satunya adalah sebagai bahan elektroda. Hal ini disebabkan oleh harga yang murah, bahan dasar yang mudah didapat dari berbagai jenis bahan alam, sintesis yang mudah, bentuk yang dapat diperoleh sebagai bubuk, fiber/serat, dan lembaran, luas permukaan yang besar dan porinya yang bisa diatur. Elektroda ini mudah terpolarisasi, stabil dalam larutan yang berbeda (asam, basa dan



aprotik) dan stabil dalam rentang temperatur tertentu (Marsh, 2006; Frackowiak dkk, 2006).

Secara umum, proses pembuatan karbon aktif terdiri atas proses dehidrasi, karbonisasi dan akitvasi. Pada dasarnya tahap dehidrasi digunakan untuk bahan baku yang memiliki kandungan air yang cukup tinggi, sehingga dehidrasi perlu dilakukan untuk menguapkan kandungan air yang berada pada bahan baku. Tujuan dari karbonisasi ini untuk menghilangkan zat-zat yang mudah menguap (*volatile matter*) yang terkandung pada bahan dasar. Aktivasi adalah bagian dalam proses pembuatan karbon aktif yang bertujuan untuk membuka atau menciptakan pori yang dapat dilalui oleh adsorbat atau memperbesar distribusi, ukuran pori serta memperbesar luas permukaan dari karbon aktif dengan perlakuan fisika maupun kimia. Aktivasi fisika dilakukan dengan mengalirkan uap air ataupun gas pengoksidasi seperti oksigen, nitrogen (N<sub>2</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) ke dalam suatu reaktor pada rentang temperatur yang sangat tinggi yaitu 600-1000°C. Reaksi gas yang mengalir dengan karbon akan melepaskan hidrogen dan CO sehingga memperluas pori dan menghilangkan senyawa pengotor lainnya sehingga pori-pori yang tertutup menjadi terbuka dan akhirnya memperluas permukannya. Sementara itu, aktivasi kimia biasanya digunakan untuk bahan baku yang mengandung lignoselulosa. Larutan kimia yang dipakai biasanya adalah garam alkali, alkali tanah dan asam seperti KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Yuliusman dan Diana, 2013).

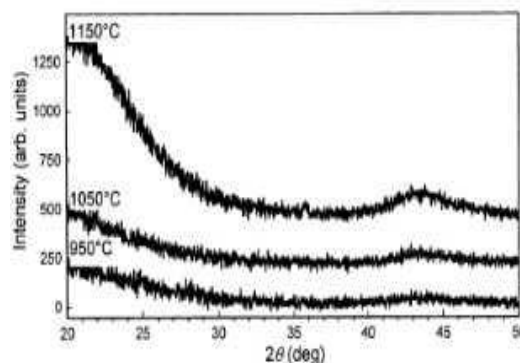
Qualitas karbon aktif dapat dinilai berdasarkan persyaratan (SNI) 1995 pada Tabel 1 (BSN, 1995).



**Tabel 1.** Standar Kualitas Karbon Aktif

Uraian	Prasyarat kualitas	
	Butiran	Serbuk
Kadar air %	Maks. 4,5	Maks. 15
Kadar abu %	Maks. 2,5	Mas. 10
Daya serap terhadap yodium mg/g	Min. 750	Min. 750
Daya serap metilen biru mg/g	Min. 60	Min. 120

Karakterisasi karbon aktif umumnya menggunakan difraksi sinar-X (XRD) dan *Scanning Microscopy Electron* (SEM). Di samping itu, *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) biasanya menjadi penunjang untuk analisis karbon aktif. Difraksi sinar X digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi melalui pemanfaatan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X (Purbo dkk., 2009). Janes dkk., (2007) mengkarakterisasi karbon nanopori menggunakan XRD untuk mengidentifikasi perubahan struktur pada karbon nanopori dengan variasi suhu aktivasi. Pola XRD karbon nanopori pada suhu aktivasi 1050 °C dan 1150 °C seperti pada Gambar 2 menunjukkan difraksi dengan sudut yang mendekati nilai  $2\theta = 43,5^\circ$  yang mengarah pada bentuk dasar grafit yang mengindikasikan struktur amorf pada karbon nanopori.



**Gambar 2.** Karakteristik pola XRD dari sampel karbon nanopori dengan suhu aktivasi 950 °C sampai 1150 °C (Janes dkk., 2007).



Analisis spektrofotometer IR digunakan untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsi yang terdapat pada permukaan karbon aktif. Analisis ini didasarkan pada perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Absorpsi inframerah oleh suatu material dapat terjadi jika dipenuhi dua syarat, yaitu kesesuaian antara frekuensi radiasi inframerah dengan fungsional vibrasi dari gugus fungsional dalam senyawa dan perubahan momen dipol selama bervibrasi (Chatwal, 1985).

### 2.3 Tempurung Kemiri sebagai Sumber Karbon Aktif

Biomassa lignoselulosa merupakan bahan baku potensial yang dapat digunakan dalam sintesis material karbon berpori. Biomassa lignoselulosa terdiri atas tiga komponen utama yang membentuk dinding selnya, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Lignin mengandung 61 % elemen karbon yang lebih banyak dibandingkan dengan sedangkan selulosa dan hemiselulosa masing-masing memiliki 42 % dan 40 % (Darmawan dkk., 2016).

Penggunaan bahan biomassa untuk dijadikan karbon menjadi perhatian saat ini karena mempunyai beberapa keuntungan secara ekonomi, lingkungan dan sosial (Pari dkk, 2014). Beberapa material elektroda berbahan dasar karbon dari biomassa yang juga merupakan limbah telah dilaporkan seperti ampas kacang (Teng dkk, 2016), ampas kopi (Kamikuri dkk, 2014), limbah cangkang sawit (Aziz dkk, 2016), keramik lantai (Tetra dkk, 2016), biji karet (Tetra dkk, 2015) tepung singkong dan tapioka (Pari dkk, 2014), serta sekam padi (Thi dkk, 2014).

Kulit kemiri merupakan limbah organik yang dapat diuraikan namun cukup keras sehingga waktu yang lama dibutuhkan untuk urainya secara alamiah. Berbagai upaya dilakukan untuk memanfaatkan limbah kulit kemiri. Limbah kulit kemiri dapat digunakan untuk



menanggulangi penumpukkannya dan dapat menghasilkan produk yang berguna seperti karbon aktif (Meilita dan Tuti 2003).

Seiring dengan berkembangnya industri, kebutuhan karbon aktif semakin meningkat, baik untuk kebutuhan ekspor maupun domestik. Pada tahun 2000, Indonesia mengekspor karbon aktif sebesar 10.205 ton. Selanjutnya *Asian and Pasific Coconut Community* (Bansal, 2005) mengimpor karbon aktif dari Indonesia tahun 2005 sebesar 25.671 ton.

Menurut *Integrated Taxonomic Information System* (2018), tata nama Kemiri (*Aleurites moluccana*) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Subkelas	: Rosidae
Ordo	: Malpighiales
Famili	: Euphorbiaceae
Genus	: <i>Aleurites</i>
Spesies	: <i>Aleurites moluccana</i> (L.) Willd.

Tempurung kemiri memiliki kandungan lignin tertinggi. Sehingga kandungan lignin tinggi dalam kemiri memberikan hasil yang sama tinggi untuk karbon aktifnya. Adapun kadar senyawa kimia yang terdapat dalam kemiri ditunjukkan pada Tabel 2.



**Tabel 2.** Komposisi kimia tempurung kemiri (*Aleurites moluccana* (L.) Willd.) (Darmawan dkk., 2016)

Komposisi kimia	Kadar (%)
Selulosa	25,77
Hemiselulosa	28,73
Total lignin	36,02
Klason	36,00
Lignin terlarut asam	0,02
Alkohol – benzena terlarut	8,53

Lignoselulosa merupakan unsur yang banyak mengandung karbon. Lignoselulosa terdiri atas lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Material yang mengandung lignin memiliki kandungan karbon sekitar 35 % - 40 %, densitas yang rendah sekitar  $0,3 \text{ kg/m}^3$  -  $0,4 \text{ kg/m}^3$ , dan kandungan abu yang sangat sedikit (Manocha, 2003).

Aktivasi kimiawi biasanya digunakan untuk bahan baku yang mengandung lignoselulosa. Pada aktivasi ini, karbon dicampur dengan larutan kimia yang berperan sebagai *activating agent*. *Activating agent* ini berperan sebagai *dehydrating agent* yang akan mempengaruhi dekomposisi pirolisis, menghambat pembentukan tar, dan mengurangi pembentukan asam asetat, dan metanol (Ahmadpour, 1995; Lillo dkk, 2003; Manocha, 2003).

Menurut Laos dkk (2016), karbon aktif dapat diperoleh dari kulit kemiri yang diaktifkan dengan menggunakan zat aktivator berupa  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dengan konsentrasi 2,5 % selama 24 jam dan disintering pada suhu  $200^\circ\text{C}$ ,  $250^\circ\text{C}$ ,  $300^\circ\text{C}$ ,  $350^\circ\text{C}$  dan  $400^\circ\text{C}$ . Karbon aktif yang dihasilkan cukup baik dan

ini standar SNI dengan hasil pengujian kadar air yaitu antara 14,35% dimana standar SNI maksimum 15 %, hasil pengujian kadar abu





maksimal yaitu 8,5 % dengan standar SNI minimum 10 %. Daya serap iodine 252,97 mg/g dengan standar SNI minimum 750 mg/g, dan semakin tinggi suhu sintesis maka semakin baik daya serap karbon aktif terhadap metilen biru sehingga limbahnya semakin jernih.

#### 2.4 Pengaruh Elektrolit terhadap Nilai Kapasitansi

*Electrical double-layer capacitor* (EDLCs), juga dikenal sebagai superkapasitor, adalah perangkat penyimpanan energi yang berdasarkan elektroda karbon aktif (AC) dan menghasilkan daya yang tinggi dalam waktu singkat dengan siklus hidup yang sangat baik. Kepadatan energi (E) kapasitor elektrokimia dinyatakan dengan persamaan (1) (Beeguinn dkk., 2013):

$$E = \frac{1}{2} CU^2 \quad (1)$$

dimana 'C' adalah kapasitansi dan 'U' tegangan listrik atau beda potensial; tegangan maksimum bergantung pada stabilitas elektrokimia dari elektrolit. Performa sebuah superkapasitor dapat disesuaikan dengan mengubah sifat elektrolit. Sebuah superkapasitor dapat memanfaatkan larutan atau elektrolit organik. Elektrolit seperti H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan KOH, umumnya memiliki ESR/tahanan seri yang lebih rendah dan memiliki ukuran pori lebih kecil dibandingkan dengan elektrolit organik, seperti asetonitril. Namun, larutan elektrolit juga memiliki tegangan *breakdown* yang lebih rendah. Oleh karena itu, pemilihan antara larutan elektrolit atau organik harus mempertimbangkan kapasitansi, dan tahanan dalam. Performa superkapasitor dapat diuji dengan sistem yang berbeda, misal *Cyclic Voltammetry* (CV) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Sistem

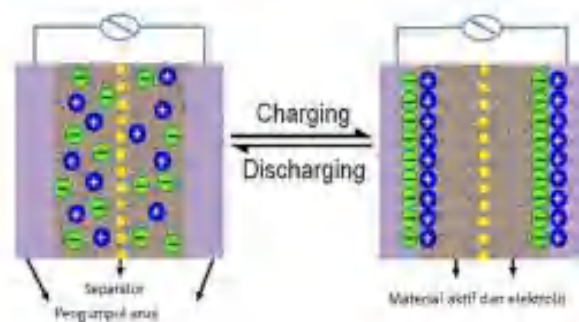
akan menghasilkan *performance* dari kapasitansi spesifik, jendela



potensial stabilitas *charging/discharging*, waktu pemakaian dan tahanan listrik dari superkapasitor (Kötz dkk., 2001; Ruiz dkk., 2009).

Komponen utama dari superkapasitor adalah permukaan elektroda yang luas, elektrolit yang memberikan muatan ion, dan separator sebagai pemisah antara permukaan elektroda yang meningkatkan nilai kapasitansi. Superkapasitor menggunakan lapisan rangkap listrik pada antarmuka elektroda/elektrolit dimana terjadi akumulasi ion pada permukaan elektroda karena adanya tarikan elektrostatik (Zhou dkk., 2013). Luas permukaan yang tinggi, memberikan nilai kapasitansi yang tinggi juga jika semua pori dapat diakses oleh ion dan material karbon mempunyai tingkat kebasaaan yang baik (Frackowiak, 2006).

Material elektroda utama untuk kapasitor adalah karbon aktif (AC) tapi tidak mudah untuk mengontrol porositasnya, ukuran pori, dan perbandingan mikro/meso. Prinsip penyimpanan energi pada superkapasitor adalah akumulasi muatan elektrostatik pada antarmuka elektroda dan elektrolit seperti pada Gambar 3 (Chen dan Liming, 2013).



**Gambar 3.** Skema proses *charging/discharging* dalam superkapasitor (Chen dan Liming, 2013)

Elektrolit adalah larutan yang mengandung ion yang berperilaku sebagai elektrik konduktif. Elektrolit kimia umumnya ada sebagai larutan asam, atau garam. Elektrolit yang digunakan pada superkapasitor dapat



memainkan peran penting dalam mencapai rapatan daya dan energi yang diinginkan. Jika elektrolit rusak pada voltase yang relatif rendah, sel superkapasitor mungkin tidak memiliki energi atau kerapatan daya yang cukup tinggi. Proses ini adalah difusi dan pergerakan ion-ion ini yang memungkinkan terbentuknya muatan yang berlawanan pada antarmuka elektroda yang menyebabkan penyimpanan muatan. Bila tidak ada bias potensial yang diterapkan pada superkapasitor, ion-ion dalam elektrolit didistribusikan secara acak. Begitu ada bias potensial, anion tertarik ke lapisan elektroda positif dan kation sebaliknya beralih ke lapisan elektroda negatif. Dengan demikian, faktor yang menghambat gerak ion dapat menyebabkan menurunnya kemampuan superkapasitor. Dengan mekanisme yang melibatkan difusi melalui materi (dalam hal ini ion melalui membran pemisahan, atau ke lokasi adsorpsi elektroda), beberapa parameter dapat mempengaruhi gerak ionik: ukuran ion elektrolit, viskositas elektrolit, keterbasahan permukaan, dan berat molekul elektrolit. Superkapasitor yang ideal memiliki luas permukaan tinggi yang memungkinkan dengan sebanyak mungkin ion dapat mencapai permukaan elektroda tanpa adanya hambatan sifat kimiawi (struktur ikatan, massa, reaktivitas, keasaman, dll.) Elektrolit menjadi perhatian untuk melihat bagaimana pengaruhnya terhadap pergerakan ion melalui membran pemisah/separator dan permukaan elektroda. Sampai batas tertentu, ada distribusi ion lapisan difusi pada elektroda. Suatu jenis elektrolit yang disebut cairan ionik suhu ruangan dapat digunakan pada superkapasitor. Cairan ini adalah larutan elektrolit dengan suhu leleh di bawah suhu kamar (Boyea dkk, 2007)



elektrolit larutan netral seperti alkali sulfat dapat mencapai tegangan yang tinggi dengan kapasitor karbon/karbon simetris daripada yang umumnya

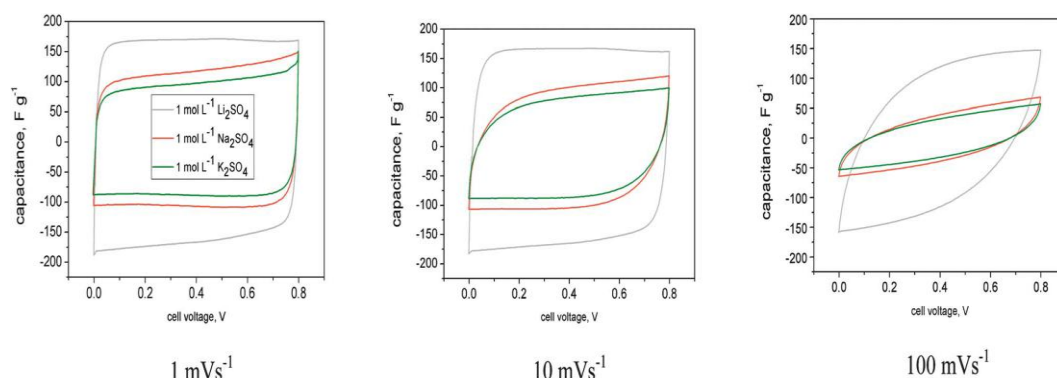
diperoleh dalam media asam atau basa. Dalam penelitian sebelumnya, jendela potensial stabilitas sekitar 2,0 V telah ditunjukkan dengan karbon aktif dalam  $\text{Na}_2\text{SO}_4$   $0,5 \text{ molL}^{-1}$  (Demarconnay dkk., 2010). Fic dkk., (2012) melaporkan bahwa di antara tiga elektrolit ( $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ )  $1 \text{ molL}^{-1}$  larutan lithium sulfat memberikan hasil terbaik. Tegangannya sangat besar, terutama untuk ion  $\text{Li}^+$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ . Tegangan operasi tertinggi 2,2 V dengan stabilitas siklus yang luar biasa telah ditunjukkan dalam  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ , hidrasi yang lebih kuat dari  $\text{Li}^+$  dibandingkan dengan ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$  bertanggung jawab untuk tegangan yang lebih besar dalam larutan  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ . Penyebaran muatan yang baik dan nilai kapasitansi tertinggi  $140 \text{ Fg}^{-1}$  dicapai dalam  $1 \text{ molL}^{-1} \text{ Li}_2\text{SO}_4$ . Oleh karena itu, nilai kapasitansi yang disajikan pada Gambar 4 dinyatakan per massa satu elektroda.

Pengisian muatan dan nilai kapasitansi terbaik dicapai larutan  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ . Ini sangat terkait dengan mobilitas ion logam alkali, meningkat sebagai berikut:  $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+$ . Tidak seperti sistem *pseudocapacitive*, di mana transfer ion yang cepat ke antarmuka elektroda/elektrolit diperlukan untuk proses redoks cepat, pengisian sederhana dan pemakaian lapisan ganda listrik pada *EDLCs* tidak memerlukan mobilitas ion yang sangat tinggi. Oleh karena itu, mobilitas tinggi dapat memperburuk penyebaran muatan yang cepat dan efisien. Hasil yang diperoleh untuk tiga larutan logam alkali (Li, Na, K) sulfat membuktikan dengan jelas asumsi ini. Untuk kecepatan pemindaian yang relatif lambat ( $1 \text{ mVs}^{-1}$ ) perbedaan dalam penyebaran muatan tidak signifikan untuk ketiga larutan, namun, nilai

si adalah yang tertinggi pada larutan  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  ( $170 \text{ Fg}^{-1}$ ) bila gkan dengan  $105 \text{ Fg}^{-1}$  untuk  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dan  $78 \text{ Fg}^{-1}$  untuk  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; pada



tingkat pemindaian sedang ( $10 \text{ mVs}^{-1}$ )  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  tampaknya masih merupakan elektrolit yang paling menjanjikan, dengan mempertimbangkan penyebaran muatan dan nilai kapasitansi ( $153 \text{ Fg}^{-1}$ ) (Fic dkk., 2012).

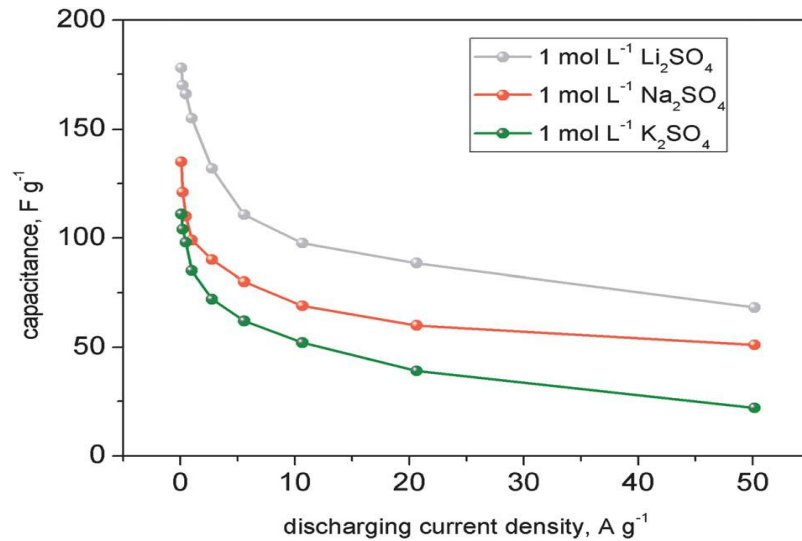


**Gambar 4.** Voltammogram siklik pada laju pemindaian yang berbeda (masing-masing  $1, 10$  dan  $100 \text{ mVs}^{-1}$ ) dengan nilai kapasitansi untuk kapasitor karbon-karbon yang beroperasi dalam  $1 \text{ molL}^{-1}$  larutan logam alkali (Li, Na, K) sulfat (Fic dkk., 2012).

Pada laju pemindaian cepat ( $100 \text{ mVs}^{-1}$ ), karakter voltammogram yang cukup resistif menunjukkan beberapa kesulitan dalam perambatan muatan, nilai kapasitansi tertinggi yaitu  $76 \text{ Fg}^{-1}$  masih dipertahankan  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ , secara signifikan lebih tinggi daripada  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ( $28 \text{ Fg}^{-1}$ ) dan  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ( $23 \text{ Fg}^{-1}$ ). Untuk mendapatkan nilai kapasitansi yang andal, teknik pengisian/pengosongan galvanostatik diterapkan menggunakan berbagai densitas, mis., dari  $0,2$  hingga  $50 \text{ Ag}^{-1}$ . Hasil ini disajikan pada Gambar 5 (Fic dkk., 2012).

Selain itu, teknik ini benar-benar membuktikan kecenderungan yang ditunjukkan oleh voltametri siklik. Dapat dilihat bahwa nilai kapasitansi tertinggi diperoleh  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ . Dalam kisaran kerapatan arus dari  $0,2 \text{ A}$  hingga  $10 \text{ Ag}^{-1}$  kapasitansi elektroda di atas  $100 \text{ Fg}^{-1}$ , namun, penurunan yang signifikan dapat diamati untuk nilai-nilai ini ( $178 \text{ Fg}^{-1}$  pada  $0,25 \text{ Ag}^{-1}$  dan  $102 \text{ Fg}^{-1}$  pada  $10 \text{ Ag}^{-1}$ ) (Fic dkk., 2012).





**Gambar 5.** Kapasitansi vs muatan untuk berbagai larutan logam alkali sulfat (Fic dkk., 2012).

Dalam larutan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kapasitansi pada 0,2 Ag<sup>-1</sup> adalah 130 Fg<sup>-1</sup>, 72 Fg<sup>-1</sup> pada 10 Ag<sup>-1</sup> dan sedikit menurun menjadi 55 Fg<sup>-1</sup> pada 50 Ag<sup>-1</sup>. Hasil yang sama diperoleh untuk larutan K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, yaitu, penurunan yang signifikan dari nilai kapasitansi dari 114 Fg<sup>-1</sup> hingga 50 Fg<sup>-1</sup> dalam kisaran densitas dari 0,2 Ag<sup>-1</sup> hingga 10 Ag<sup>-1</sup>. Penurunan lebih lanjut dari nilai kapasitansi pada kepadatan arus tinggi dari 10 hingga 50 Ag<sup>-1</sup> agak berkurang, mencapai nilai dari 50 hingga 29 Fg<sup>-1</sup>. Hasil terbaik yang diperoleh larutan Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mungkin dijelaskan oleh dimensi ion. Telah diketahui bahwa ion logam alkali sangat terlarut dalam larutan air dengan peningkatan diameter kompleks pelarut ion dalam urutan K<sup>+</sup> < Na<sup>+</sup> < Li<sup>+</sup>. Tentu saja, agak tidak mungkin untuk secara tepat menentukan jumlah molekul air di sekitar kation logam alkali, dengan mempertimbangkan bahwa jumlah elektrolit adalah sistem yang dinamis dan angka-angka itu dapat dengan mudah berubah (Fic dkk., 2012).

nilai kapasitansi tertinggi yang diperoleh untuk ion terbesar dan paling yaitu Li<sup>+</sup> yang bahkan dikelilingi oleh 27 molekul air dapat dijelaskan

