

*Skripsi*

**SINTESIS NITROGEN-DOPED CARBON (NDC) DARI TEMPURUNG  
KEMIRI (*Aleurites moluccana*) TERAKTIVASI KOH SEBAGAI  
MATERIAL ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

**HELEN SALUDUNG**

**H311 14 018**



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



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

**SINTESIS NITROGEN-DOPED CARBON (NDC) DARI TEMPURUNG  
KEMIRI (*Aleurites moluccana*) TERAKTIVASI KOH SEBAGAI  
MATERIAL ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

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

Oleh:

**HELEN SALUDUNG**

**H311 14 018**



**MAKASSAR**

**2019**



**SKRIPSI**

**SINTESIS NITROGEN-DOPED CARBON (NDC) DARI TEMPURUNG  
KEMIRI (*Aleurites moluccana*) TERAKTIVASI KOH SEBAGAI  
MATERIAL ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

**Disusun dan diajukan oleh**

**HELEN SALUDUNG**

**H311 14 018**

**Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh:**

**Pembimbing Utama**



**Ammad Zakir, M.Si**  
01103 199903 1 001

**Pembimbing Pertama**



**Dr. Maming, M.Si**  
NIP. 19631231 198903 1 031



**DO SOMETHING EVERYDAY THAT BRINGS YOU  
CLOSER TO YOUR DREAM**



**“Karena masa depan sungguh ada, dan  
harapanmu tidak akan hilang.”**

**(Amsal 23;18)**



## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, yang telah memberi kekuatan dan kesehatan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini berjudul “**Sintesis Nitrogen-Doped Carbon (NDC) dari Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*) Teraktivasi KOH sebagai Material Elektroda Superkapasitor**” yang diajukan sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan karena menyadari segala keterbatasan yang ada. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang sifatnya dapat membangun demi kesempurnaan penulisan skripsi ini.

Skripsi ini penulis persembahkan kepada orang tua, ayahanda **Drs. Saludung** dan ibunda **Meti Patiri** yang telah tulus ikhlas memberikan kasih sayang, doa, perhatian, dukungan moral dan materil selama ini. Terima kasih telah meluangkan segenap waktunya untuk mengasuh, membimbing dan menuntun perjalanan hidup penulis dengan alunan doa yang tiada henti agar penulis sukses dalam menggapai impian. Terima kasih kepada kakak-kakakku terkasih, **Apriany Saludung, Erwin Wijaya** dan adikku **Renaldhi Saludung** yang telah banyak memberikan semangat dan selalu menghibur.

Ucapan terima kasih dan penghargaan istimewa juga penulis sampaikan



*Bapak Dr. Muhammad Zakir, M.Si*

*dan*

*Dr. Maming, M.Si*

selaku pembimbing utama dan pembimbing pertama yang dengan penuh keikhlasan dan kesabaran dalam membimbing serta memberikan dukungan moral dan materi arahan dan penunjuk serta koreksi, memberikan dorongan, semangat, perhatian dan membuka wawasan berpikir bagi penulis selama penulis menuntut ilmu di Universitas Hasanuddin dan terutama pada saat pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini. Serta Ibu **Dr. Rugaiyah Arfah, M.Si** selaku ketua penguji, Bapak **Dr. Syarifuddin Liong M.Si** selaku sekretaris penguji dan Ibu **Syadza Firdausiah, S.Si, M.Si** selaku anggota penguji yang telah meluangkan waktu dan keikhlasannya berbagi ilmu kepada penulis dalam usaha penyelesaian skripsi ini. Tidak sedikit hambatan dan kesulitan yang dihadapi penulis, akan tetapi atas bantuan dari berbagai pihak baik berupa bimbingan, motivasi, pikiran, tenaga dan doa serta penyertaan dari Tuhan Yesus Kristus akhirnya hambatan-hambatan tersebut dapat terlewati.

Penulis dalam menyelesaikan penelitian ini telah memperoleh banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis banyak mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Drs. Abd. Karim, M.Si** selaku Ketua Departemen Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin.
2. Ibu **St. Fauziah, S.Si, M.Si**, selaku sekretaris Departemen Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin dan penasehat akademik 2014-2017.

Bapak dan Ibu Dosen Jurusan beserta Staf Tata Usaha Departemen Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bekal ilmu



pengetahuan selama penulis duduk di bangku perkuliahan hingga memperoleh gelar Sarjana.

4. Ibu **Dr. Paulina Taba, M.Phil** selaku Kepala Laboratorium Kimia Fisika yang telah memberikan izin pemakaian Laboratorium sebagai tempat penelitian dan **Pak Sugeng** selaku analis Laboratorium yang dengan sepenuh hati selalu melayani peminjaman alat dan membantu pelaksanaan penelitian.
5. Analis Laboratorium Departemen Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin, **Kak Fibi, Ibu Tini, Pak Iqbal, Kak Linda, Kak Hanna dan Kak Anti** yang telah membantu pelaksanaan penelitian penulis.
6. Teman-teman seperjuangan **Chemistry'14** yang telah memberikan semangat dan dukungan serta mengisi hari-hari penulis dengan penuh canda tawa.
7. Saudara-saudariku terkasih, **Kak William, Kak Ezra, Kak Anti dan Kak Ita** yang selalu menyayangi dan menjagaku serta memberikan dukungan berupa moril dan materi selama ini.
8. Ayahanda **Yunus Siappa** dan ibunda **Alm. Ros Tangdiembong** yang juga dengan tulus ikhlas memberikan kasih sayang, doa, dukungan moral dan materil selama penulis berada di Makassar.
9. Kawan-kawanku yang tergabung dalam **kho5ong: Anti, Ayu, Indra, Rani, dan Fenti** yang telah mengajarkan arti kebersamaan dan memberi kesan yang sangat mendalam selama berada di Universitas Hasanuddin.
10. Kakanda **Muhammad Muzakir** selaku rekan panel dalam penelitian yang senantiasa memberikan bantuan, dukungan dan motivasi sewaktu penulis

alami kesulitan dan hambatan dalam penelitian ini.

nda dan adinda **Penghuni Laboratorium Kimia Fisika: Widya, Nova, na, Uni, Ridha, Putpang, Bahrn, Nandar, Kak Edar dan Kak**



**Rusman** atas segala bantuan serta motivasi selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.

12. Kakak-kakak alumni Peneliti Kimia Fisika **Kak Ita, Kak Ana, Kak Mima, Kak Vero dan Kak Tisah** yang senantiasa memberikan motivasi dan saran yang sangat membangun.
13. Sahabat-sahabatku di **SMAN 2 Rantepao: Vita, Linda, Charla, Wasty, June, Chelsy, Soda, Jeje, Nia, Dinda, Adi dan Feby** yang juga senantiasa menghibur dan memotivasi.
14. Saudaraku KKN Gel. 96 Desa Timbuseng, Takalar: **Ayu, Nisar, Hilda, Kak Charly, Kak Danar, Azkar dan Sisil** yang telah mendukung dan memotivasi selama ini.
15. Kakak-kakak, teman-teman dan adik-adik **GMKI Kom. FMIPA Unhas** yang telah mendoakan dan memotivasi selama ini.
16. Keluarga besar penulis tanpa terkecuali yang telah mendukung dan mendoakan selama ini.

Terima kasih atas keceriaannya, serta kepada semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan namanya yang telah mengisi hari-hari penulis dalam berbagai aktivitas, terima kasih atas segala bantuan, perhatian, motivasi, canda tawa dan kebersamaannya dalam suka maupun duka. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan memperluas wacana ilmu pengetahuan serta wawasan kita dalam bidang Kimia pada umumnya, Amin.

Makassar, Januari 2019

Penulis



## ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji potensi Nitrogen-Doped Carbon (NDC) sebagai material elektroda pada superkapasitor. Telah disintesis dua material NDC dari karbon tempurung kemiri (*Aleurites moluccana*) teraktivasi KOH melalui metode aminasi dan praoksidasi-aminasi. Material NDC 1 disintesis melalui metode aminasi menggunakan  $\text{NH}_4\text{OH}$  sebagai sumber nitrogen. Sementara material NDC 2 disintesis melalui metode praoksidasi-aminasi yang terlebih dahulu dioksidasi dengan  $\text{HNO}_3$  untuk menambah gugus oksigen pada permukaan karbon sehingga semakin banyak nitrogen yang dapat terikat pada saat bereaksi dengan  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Kadar nitrogen pada material NDC 1 dan NDC 2 yang dianalisis melalui titrasi asidimetri yaitu 2,04% dan 2,31%. Hasil analisis FTIR mengindikasikan adanya piridin-N setelah doping nitrogen yang memberikan efek pseudokapasitif pada permukaan material. Berdasarkan pengukuran siklik voltametri didapatkan nilai kapasitansi spesifik material karbon aktif, NDC 1 dan NDC 2 dalam elektrolit KOH 1 M sebesar 0,1494 F/g; 12,8903 F/g dan 4,9467 F/g.

**Kata kunci:** elektroda, kapasitansi spesifik, karbon aktif, NDC, siklik voltametri, tempurung kemiri



## ABSTRACT

This study examines the potential of Nitrogen-Doped Carbon (NDC) as an electrode material in supercapacitors. Two types of NDC materials have been synthesized from the candlenut shell carbon (*Aleurites moluccana*) by KOH activation through amination and preoxidation-amination methods. NDC 1 was synthesized through amination method using  $\text{NH}_4\text{OH}$  as a nitrogen source. Besides, the NDC 2 is synthesized through the preoxidation-amination method, was first oxidized with  $\text{HNO}_3$  to add oxygen groups to the carbon surface so that more nitrogen can be bonded when reacting with  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Nitrogen content in NDC 1 and NDC 2 analyzed through acidimetry titration were 2.04% and 2.31%. The results of FTIR analysis indicated the presence of pyridine-N after nitrogen doping that introduce pseudocapacitive effect on the material surface. The measurement of specific capacitance of activated carbon, NDC 1 and NDC 2 by the cyclic voltammetry method in KOH 1 M electrolyte showed the value of 0.1494 F/g; 12.8903 F/g and 4.9467 F/g.

**Keywords:** activated carbon, candlenut shell, cyclic voltammetry, electrode, NDC, specific capacitance



## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	ix
ABSTACK.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Maksud Penelitian.....	5
1.3.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Superkapasitor.....	6
2.2 Karbon Aktif.....	10
2.3 Tempurung Kemiri sebagai Sumber Karbon Aktif.....	13
2.4 Material <i>Nitrogen-Doped Carbon</i> (NDC).....	15
METODE PENELITIAN.....	20
	xi



3.1 Bahan Penelitian.....	20
3.2 Alat Penelitian .....	20
3.3 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	20
3.4 Prosedur Penelitian.....	21
3.4.1 Pembuatan Larutan Pereaksi .....	21
3.4.1.1 Pembuatan Larutan $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 0,05 N.....	21
3.4.1.2 Pembuatan Larutan $\text{NaHCO}_3$ 0,05 N .....	21
3.4.1.3 Pembuatan Larutan $\text{NaOH}$ 0,05 N .....	21
3.4.1.4 Pembuatan Larutan $\text{HCl}$ 0,05 N .....	21
3.4.1.5 Pembuatan Larutan $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 0,05 N.....	22
3.4.1.6 Pembuatan Larutan $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,05 N .....	22
3.4.1.7 Standarisasi Larutan $\text{HCl}$ dengan $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 0,05 N.....	22
3.4.1.8 Standarisasi Larutan $\text{NaOH}$ dengan $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,05 N.....	22
3.4.1.9 Pembuatan Larutan $\text{KOH}$ 1 M .....	22
3.4.1.10 Pembuatan Larutan Metilen Biru 5000 ppm .....	23
3.4.1.11 Pembuatan Larutan Metilen Biru 50 ppm .....	23
3.4.1.12 Pembuatan Larutan Metilen Biru 0,5; 1; 2; 4 dan 8 ppm...	23
3.4.2 Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kemiri.....	23
3.4.2.1 Preparasi Sampel .....	23
3.4.2.2 Karbonisasi Tempurung Kemiri.....	23
3.4.2.3 Aktivasi Karbon Tempurung Kemiri .....	24
3.4.3 Pembuatan Material NDC .....	24
4.3.1 Metode Aminasi .....	24
4.3.1 Metode Praoksidasi Aminasi.....	24



3.4.4 Pembuatan Elektroda.....	25
3.4.5 Karakterisasi Material .....	25
3.4.5.1 Penentuan Kadar Air .....	25
3.4.5.2 Penentuan Kadar Abu.....	25
3.4.5.3 Penentuan Kadar Senyawa Mudah Menguap.....	26
3.4.5.4 Penentuan Kadar Karbon Tetap .....	26
3.4.5.5 Penentuan Luas Permukaan .....	27
3.4.5.6 Penentuan Gugus Fungsi dengan Metode Titration Boehm ....	28
3.4.5.7 Penentuan Kadar N yang Terdeposisi pada Permukaan Karbon Aktif dengan Metode Asidimetri .....	29
3.4.5.8 Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR .....	29
3.4.5.9 Penentuan Nilai Kapasitansi Spesifik dengan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> .....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>31</b>
4.1 Analisis Proksimat Material .....	31
4.2 Analisis Permukaan Material .....	34
4.2.1 Analisis Luas Permukaan dengan Metilen Biru .....	34
4.2.2 Analisis Gugus Fungsi dengan Titration Boehm .....	37
4.2.3 Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR .....	39
4.2.4 Analisis Permukaan Karbon dengan SEM .....	41
4.3 Analisis Kapasitansi Spesifik .....	42
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>46</b>
5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran.....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>47</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>57</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Taksonomi Superkapasitor.....	8
2. Skema Kapasitor Listrik <i>Double Layer</i> .....	9
3. Struktur Mikro Karbon dan Karbon Teraktivasi KOH .....	10
4. Diagram Umum Pembuatan Karbon Aktif .....	11
5. Struktur Karbon yang Rusak Ketika Saling Berikatan Membentuk Mikropori .....	12
6. Tempurung Kemiri.....	14
7. Gugus Fungsi yang Terbentuk pada Permukaan Karbon Aktif setelah Penambahan HNO <sub>3</sub> .....	16
8. Reaksi NH <sub>3</sub> dengan Gugus Fungsional.....	17
9. Diagram Persentase Hasil Analisis Proksimat Sampel .....	32
10. Hasil Analisis Luas Permukaan Sampel Melalui Metode Metilen Biru.....	35
11. Spektrum FTIR KTK, KATK, NDC 1 dan NDC 2 .....	39
12. Struktur Mikro dari NDC 1 dan NDC 2.....	41
13. Voltamogram Elektroda KATK, NDC 1 dan NDC 2 dalam Elektrolit KOH 1 M .....	42
14. Kurva Nilai Kapasitansi Spesifik KATK, NDC 1 dan NDC 2 dalam Elektrolit KOH 1 M.....	43
15. Reaksi Reduksi Oksidasi yang Melibatkan Piridin.....	44
16. Skema Difusi Ion Logam pada Elektroda .....	45



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Standar Kualitas Karbon Aktif.....	13
2. Komponen Kimia Tempurung Kemiri.....	14
3. Gugus Fungsi pada Permukaan Sampel Berdasarkan Titrasi Boehm.	38



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram Alir Penelitian .....	57
2. Skema Kerja Preparasi Sampel, Karbonisasi dan Aktivasi.....	58
3. Skema Sintesis NDC .....	59
4. Skema Kerja Pembuatan Elektroda dan Karakterisasi Material .....	60
5. Dokumentasi Kegiatan Penelitian .....	64
6. Perhitungan Pembuatan Larutan Pereaksi.....	67
7. Hasil Analisis Proksimat .....	70
8. Hasil Analisis Luas Permukaan .....	78
9. Hasil Analisis Gugus Fungsi dengan Titrasi Boehm .....	81
10. Hasil Analisis Kadar N yang Terdeposisi pada Permukaan KATK ..	93
11. Hasil Analisis Kapasitansi Spesifik .....	95
12. Hasil Analisis dengan FTIR .....	96
13. Hasil Analisis dengan SEM .....	100



## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/Singkatan	Arti
EDLC	: <i>Electrochemical Double Layer Capacitor</i>
C	: Kapasitansi
E	: Energi
F	: Faraday
F/cm <sup>3</sup>	: Faraday per senti meter kubik
F/g	: Faraday per gram
FTIR	: <i>Fourier Transform Infra Red</i>
m <sup>2</sup> /g	: Meter kuadrat per gram
NAC	: <i>N-Doped Activated Carbon</i>
NDC	: <i>Nitrogen-Doped Carbon</i>
NMC	: <i>Nitrogen-Doped Macroporous Carbon</i>
nm	: nano meter
Q	: Muatan
V	: Volt
$\mu$ F/g	: Mikro Faraday per gram
TK	: Tempurung Kemiri
KTK	: Karbon Tempurung Kemiri
KATK	: Karbon Aktif Tempurung Kemiri
NDC 1	: NDC yang disintesis melalui Metode Aminasi
	: NDC yang disintesis melalui Metode Praoksidasi Aminasi
	: <i>Scanning Electron Microscopy</i>



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin canggih kebutuhan energi juga semakin meningkat (Herniyanti dkk., 2014). Dalam sistem energi yang ada, 80% dari konsumsi energi bergantung pada bahan bakar fosil seperti minyak, gas alam dan batu bara. Bahan bakar fosil tidak dapat diperbarui, sehingga eksploitasi dan konsumsi tanpa henti akan mengarah pada menipisnya sumber daya. Pada saat yang sama, emisi zat beracun selama proses penggunaan bahan bakar fosil merupakan ancaman serius bagi lingkungan (Arico dkk., 2005).

Permintaan energi yang terus meningkat dan menipisnya bahan bakar fosil telah menimbulkan minat yang signifikan terhadap sumber energi terbarukan (Balat, 2007). Pengembangan teknologi penyimpanan energi yang berkelanjutan dan efisien telah menjadi salah satu pendekatan yang penting bagi komunitas ilmu pengetahuan dan teknologi (Kim dkk., 2015). Teknologi baru yaitu superkapasitor, telah muncul dengan potensi yang memungkinkan kemajuan besar dalam penyimpanan energi. Superkapasitor memiliki prinsip dasar yang sama seperti kapasitor konvensional, tetapi menggunakan elektroda dengan area permukaan yang lebih luas dan material dielektrik yang lebih tipis untuk mencapai kapasitansi yang lebih besar. Hal tersebut memungkinkan densitas energi yang lebih besar daripada kapasitor konvensional dan densitas daya yang lebih besar

baterai, sehingga superkapasitor dapat menjadi solusi daya yang menarik untuk kebutuhan energi yang semakin meningkat (Halper dan Ellenbogen, 2006).

Berbeda dengan kapasitor konvensional yang menggunakan satu elektroda, superkapasitor dapat menggunakan dua



mekanisme penyimpanan energi, yaitu kapasitor lapisan ganda elektrik (*Electrical Double Layer Capacitor/ EDLC*) dan pseudokapasitor. EDLC terdiri atas material karbon yang secara statis menyimpan muatan dalam struktur berpori pada elektroda. Sementara pseudokapasitor yang terdiri atas oksida logam transisi atau nitrida dan polimer konduksi sebagai elektroda, mengumpulkan energi melalui reaksi oksidasi reduksi yang cepat dan reversibel pada permukaan aktif elektroda. Material yang digunakan secara luas untuk elektroda EDLC adalah karbon, karena biaya produksinya yang rendah, ketersediaan melimpah, luas permukaan yang besar, morfologi yang terkontrol dan konduktivitas listrik yang tinggi. Struktur dan sifat kimia material karbon dapat dimodifikasi untuk berbagai aplikasi. Beberapa jenis dari karbon termodifikasi adalah grafen, karbon tabung nano dan karbon aktif (Kim dkk., 2015). Secara umum, superkapasitor yang tersedia secara komersial menggunakan karbon aktif sebagai bahan elektroda (Qu, 2002). Karbon aktif merupakan karbon berpori yang diproduksi dengan cara karbonisasi bahan alami, seperti tongkol jagung, ampas tebu, tempurung kelapa, sabut kelapa, sekam padi, serbuk gergaji, kayu, kulit kacang, batu bara, bambu dan tempurung kemiri (Ariyanto dkk., 2012).

Jumlah produksi buah kemiri di Indonesia pada tahun 2016 adalah sebesar 215.080 kg (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2017). Limbah yang dihasilkan dari proses pemecahan biji kemiri berupa tempurung kemiri selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Berat tempurung kemiri mencapai dua per tiga dari berat biji kemiri utuh dan yang sepertiganya adalah inti (karnel) dari buah

Limbah ini tentunya akan sangat berpotensi bagi masyarakat apabila  
dapat dijadikan produk yang mempunyai nilai jual, diantaranya adalah  
produk karbon aktif. Kandungan tempurung kemiri sebagian besar



tersusun atas lignoselulosa mengindikasikan bahwa tempurung kemiri berpotensi sebagai prekursor karbon aktif (Darmawan dkk., 2016). Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai karbon aktif tempurung kemiri termodifikasi asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) sebagai material elektroda superkapasitor dan menunjukkan nilai kapasitansi spesifik sebesar  $127 \mu\text{F/g}$  (Wulandari, 2016).

Pembuatan karbon aktif terdiri atas dua tahap yaitu proses karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi merupakan proses pembakaran bahan baku pada suhu tinggi yang menyebabkan terjadinya dekomposisi senyawa organik yang menyusun struktur bahan baku (Ramdja dkk., 2008). Aktivasi adalah proses menghilangkan pengotor pada pori-pori karbon dengan cara memutuskan ikatan hidrokarbon sehingga meningkatkan porositas karbon (Rahayu dan Adhitiyawarman, 2014). Aktivasi menggunakan KOH adalah salah satu teknik yang paling umum digunakan untuk menghasilkan karbon aktif yang memiliki permukaan yang luas. Selama aktivasi, energi yang cukup diterapkan pada cincin karbon heksagonal kecil (lembaran grafen). Energi ini memutuskan hubungan antara lembaran grafen, merusak struktur dan membentuk pori-pori (Qu, 2002). Pembentukan pori-pori meningkatkan luas permukaan yang berkontribusi terhadap kinerja kapasitif tinggi dari karbon aktif. Karbon aktif dapat menyimpan kapasitansi spesifik antara 100-200 F/g dalam elektrolit encer dan 50-150 F/g dalam elektrolit organik (Frackowiak, 2007). Wang dkk. (2003) dan Wen dkk. (2009) mencapai kapasitansi 160 dan 225 F/g dengan karbon aktif yang diaktivasi menggunakan KOH dalam elektrolit encer.



konduktivitas karbon aktif dapat ditingkatkan melalui doping heteroatom, N, O, P, S dan B (Nasini dkk., 2014; Cai dkk., 2016; Li dkk., 2016). NDC (*Nitrogen-Doped Carbon*) merupakan material karbon yang didoping dengan

nitrogen dan telah banyak diminati karena proses sintesisnya yang mudah serta dapat meningkatkan kapasitansi spesifik dari material karbon (Sahu dkk., 2015; Guo dkk., 2016; Xu dkk., 2017). Bahan yang sering digunakan sebagai sumber nitrogen pada sintesis NDC adalah gas amoniak (Jin dkk., 2016) dan melamin (Cao dkk., 2016) karena efek doping yang sangat baik dan keamanan yang tinggi.

Pembuatan material karbon yang didoping nitrogen dengan menggunakan biomassa tempurung kelapa, kulit kacang dan lainnya telah diteliti secara intensif (Yahya dkk., 2015; Sarswat dan Mohan, 2016; Zhang dkk., 2016), sementara produksi karbon aktif yang menggunakan tempurung kemiri sebagai bahan baku sangat menjanjikan, karena memiliki karakteristik struktural seperti kekerasan yang tinggi, permukaan yang padat dan kandungan karbon yang tinggi. Penelitian ini menggunakan tempurung kemiri sebagai sumber karbon dan KOH sebagai aktivator untuk sintesis NDC sebagai material elektroda pada superkapasitor. NDC disintesis melalui metode aminasi dengan menggunakan amonium sebagai sumber nitrogen dan metode praoksidasi aminasi dengan menggunakan  $\text{HNO}_3$  untuk menambah gugus aktif pada permukaan karbon aktif sehingga semakin banyak nitrogen yang dapat terikat. NDC yang telah disintesis selanjutnya diukur nilai kapasitansi spesifiknya dengan menggunakan metode siklik voltametri.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. bagaimana pengaruh aktivator KOH terhadap sifat fisik dan kimia karbon aktif tempurung kemiri?

bagaimana pengaruh metode aminasi dan metode praoksidasi-aminasi terhadap proses deposisi gugus fungsional nitrogen pada permukaan



karbon aktif tempurung kemiri?

3. bagaimana pengaruh gugus fungsional nitrogen terhadap nilai kapasitansi spesifik 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 sebelum dan sesudah doping nitrogen 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. membandingkan metode aminasi dan metode praoksidasi-aminasi terhadap proses deposisi gugus fungsional nitrogen pada permukaan karbon aktif tempurung kemiri.
3. menentukan pengaruh gugus fungsional nitrogen dengan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif tempurung kemiri dengan metode siklik voltametri.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pembuatan karbon aktif dari tempurung kemiri, pengaruh aktivasi KOH terhadap sifat fisik dan kimia karbon aktif tempurung kemiri dan memberikan informasi mengenai

intesis dan data karakteristik karbon aktif tempurung kemiri terdoping sebagai bahan penyimpanan energi elektrokimia.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Superkapasitor

Superkapasitor juga dikenal sebagai ultrakapasitor atau kapasitor elektrokimia yang memanfaatkan material elektroda dengan area permukaan yang lebih tinggi dan dielektrik yang lebih tipis untuk mencapai kapasitansi yang lebih besar dari kapasitor konvensional. Sehingga superkapasitor dapat mencapai densitas energi yang lebih besar dan tetap mempertahankan karakteristik kepadatan daya tinggi dari kapasitor konvensional (Halper dan Ellenbogen, 2006).

Penyimpanan muatan superkapasitor sama dengan kapasitor konvensional, tetapi muatan tidak terakumulasi dalam dua konduktor melainkan pada antarmuka permukaan konduktor dan larutan elektrolit. Perangkat superkapasitor terdiri dari dua elektroda yang memungkinkan energi untuk diterapkan di seluruh sel, oleh karena itu superkapasitor memiliki lapisan ganda pada antarmuka elektroda/elektrolit. Karakteristik utama yang menjadikan superkapasitor cocok untuk digunakan dalam sistem penyimpanan energi adalah pengisian cepat dan pengeluaran tanpa kehilangan efisiensi selama ribuan siklus. Hal tersebut karena superkapasitor menyimpan energi listrik secara langsung (Alcicek dkk., 2007; Miller, 2007). Superkapasitor elektrokimia merupakan perangkat yang sangat penting karena memiliki karakteristik yang lebih unggul dibandingkan dengan perangkat penyimpanan energi lainnya. Karakteristik yang unggul dari

asitor adalah kepadatan energi yang relatif tinggi dan penggunaan jangka panjang. Karakteristik ini telah dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, seperti



elektronika daya, sistem transportasi skala besar (kereta api bawah tanah dan bus) serta penyimpanan energi pada *intermittent generator* termasuk kincir angin (Jampani dkk., 2010).

Kapasitansi dari superkapasitor berkisar antara 1-1800 F dibandingkan dengan beberapa milifarad dari kapasitor elektrolit biasa. Namun, nilai tegangan dari superkapasitor rendah, biasanya 2,5-15 V. Satu elektroda dari superkapasitor terbuat dari karbon dan yang lainnya terbuat dari cairan elektrolit. Ketika tegangan positif diterapkan ke lapisan karbon dan tegangan negatif diterapkan pada elektrolit cair maka lapisan dielektrik tipis terbentuk. Permukaan karbon yang berpori mengakibatkan area pelat yang sangat besar (1.000 m<sup>2</sup>/g karbon). Selain itu, ketebalan lapisan dielektrik yang tipis (sekitar 1 nm) mengakibatkan efisiensi volumetrik yang diperoleh lebih tinggi. Kapasitansi kepadatan karbon yang dapat dicapai adalah sekitar 30 F/g atau 1 F/cm<sup>3</sup> (Kazimierczuk, 1996).

Kapasitansi yang tinggi memungkinkan penyimpanan energi yang cukup besar pada pengaplikasiannya. Tegangan pada superkapasitor diberikan oleh Persamaan 1:

$$V_c = \frac{Q}{C} \quad (1)$$

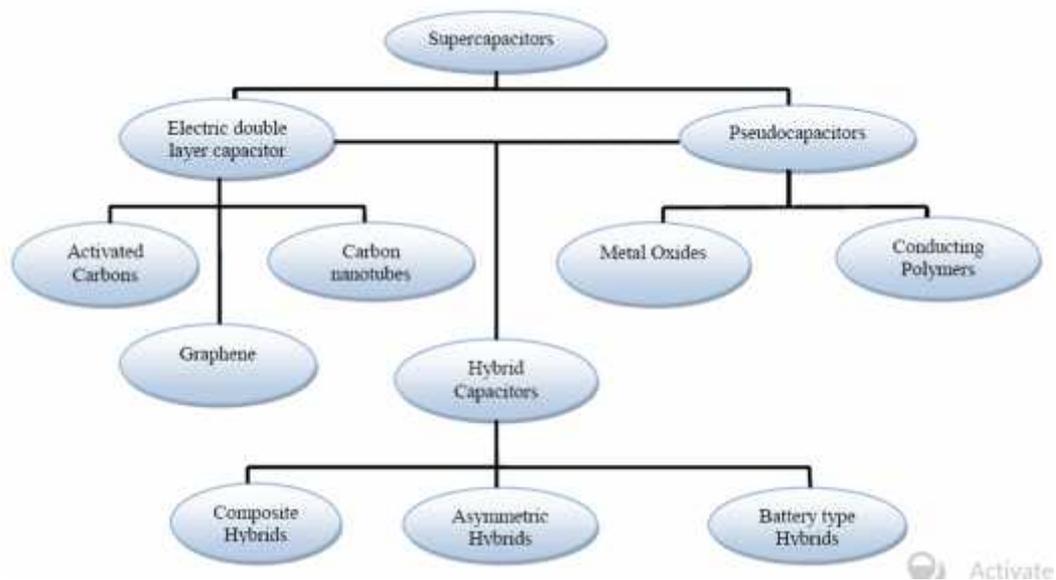
keterangan: V adalah tegangan, Q adalah muatan yang disimpan dalam superkapasitor dan C adalah kapasitansi dari superkapasitor. Energi yang tersimpan dalam superkapasitor dinyatakan melalui Persamaan 2:

$$E_c = \frac{1}{2} CV_c^2 \quad (2)$$

superkapasitor digunakan, maka tegangannya menurun. Sirkuit elektronik diperlukan untuk mengontrol tegangan *output* dan arus superkapasitor (Kazimierczuk, 1996).



Superkapasitor telah dianggap sebagai perangkat penyimpanan energi yang baik untuk menjembatani kesenjangan antara baterai dan kapasitor dielektrik (He dkk., 2011; Niu dkk., 2013). Prinsip pengoperasian superkapasitor didasarkan pada penyimpanan energi dan distribusi ion yang berasal dari elektrolit ke area permukaan elektroda. Bahan elektroda yang digunakan bergantung pada kapasitansi dan penyimpanan muatan. Berdasarkan mekanisme penyimpanan energi, superkapasitor diklasifikasikan menjadi tiga kelas, seperti yang diberikan pada Gambar 1 (Iro dkk., 2016).



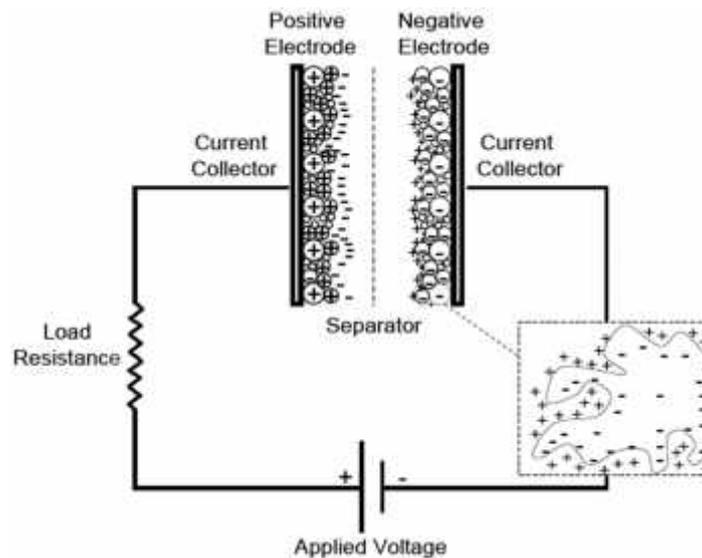
**Gambar 1.** Taksonomi superkapasitor (Iro dkk., 2016).

Secara konvensional, pseudokapasitor menyimpan energi listrik dengan reaksi Faradik yang dapat dibalik, seperti reaksi elektrosorpsi, reaksi oksidasi reduksi dan proses interkalasi pada permukaan material aktif yang menyediakan kapasitansi dan kepadatan energi yang tinggi. Namun, aplikasi praktisnya

oleh konduktivitas listrik yang rendah dari material elektroda (transisi logam/ hidroksida) yang menghasilkan kepadatan daya rendah dan juga siklus yang buruk. Sebaliknya, kapasitor listrik *double layer* (EDLC)



mencapai penyimpanan energi melalui pemisahan fisik muatan untuk membentuk lapisan ganda pada antarmuka permukaan bahan elektroda dan elektrolit yang memiliki kerapatan daya yang lebih tinggi. Namun, siklus kinerja yang lebih lama dengan kepadatan energi yang lebih rendah dapat membatasi penggunaannya (Ouyang dkk., 2013).



**Gambar 2.** Skema kapasitor listrik lapis ganda (Halper dan Ellenbogen, 2006).

Material elektroda yang paling banyak digunakan dalam pembuatan superkapasitor adalah material karbon, karena memiliki luas permukaan yang tinggi, biaya rendah dan ketersediaan yang melimpah. Mekanisme penyimpanan yang digunakan pada material karbon adalah lapisan ganda elektrokimia yang terbentuk pada antarmuka antara elektroda dan elektrolit seperti pada Gambar 2. Oleh karena itu, kapasitansinya bergantung pada luas permukaan yang dapat dicapai oleh ion elektrolit. Faktor-faktor penting yang mempengaruhi kinerja

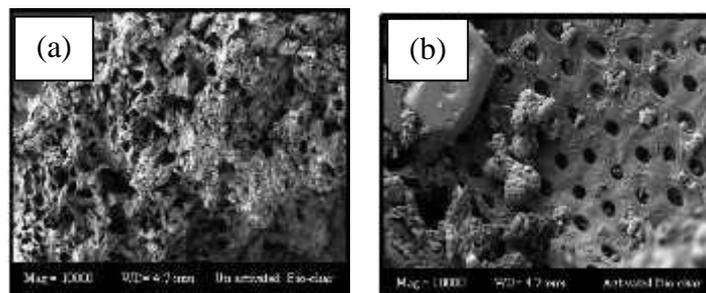
elektrokimia adalah luas permukaan spesifik, bentuk dan struktur pori, fungsi dan konduktivitas listrik (Bo dkk., 2012; Singh dkk., 2015; Yang dkk.,



## 2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah bahan elektroda yang paling banyak digunakan karena memiliki luas permukaan yang besar, sifat listrik yang baik dan biaya yang murah (Syarif dkk., 2012). Hampir semua bentuk karbon telah digunakan dalam proses *screen printing*. Karbon aktif banyak diminati karena aplikasi potensialnya dalam baterai dan superkapasitor (Alkire dkk., 2015).

Karbon aktif didefinisikan sebagai material berkarbon dengan luas permukaan internal yang besar dan struktur berpori yang sangat berkembang yang dihasilkan dari pengolahan bahan baku di bawah reaksi pada suhu tinggi. Karbon aktif terdiri dari 87% hingga 97% karbon dan juga mengandung unsur lain tergantung pada metode pengolahan yang digunakan dan sumber bahan bakunya (Jankowska dkk., 1991). Karbon aktif mempunyai permukaan dalam (*internal surface*) sehingga mempunyai kemampuan daya serap (*adsorption*) yang baik (Surtamtomo dkk., 1997). Material ini mampu mengadsorpsi anion, kation dan molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik, baik berupa larutan maupun gas (Pari, 1996).

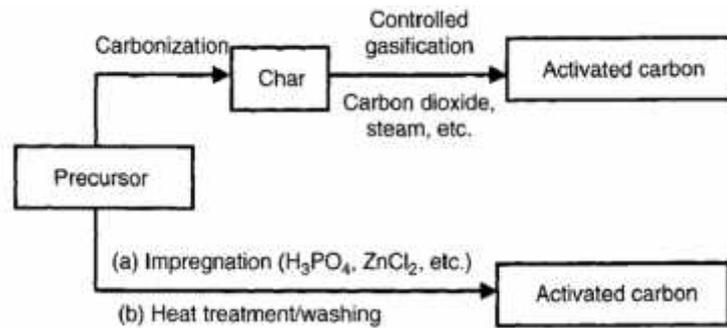


**Gambar 3.** Struktur mikro (a) karbon dan (b) karbon teraktivasi KOH (Hamid dkk., 2014).



karbon aktif dapat dibedakan dari karbon berdasarkan sifat pada permukaannya. Permukaan pada karbon masih ditutupi oleh deposit hidrokarbon

yang dapat menghambat keaktifannya, sedangkan pada karbon aktif permukaannya relatif telah bebas dari deposit sehingga mampu mengadsorpsi karena permukaannya luas dan pori-porinya telah terbuka, seperti yang terlihat pada Gambar 3 (Serrano dkk., 2003). Karbon aktif dihasilkan dari hampir semua bahan organik yang mengandung karbon (Jankowska dkk., 1991).



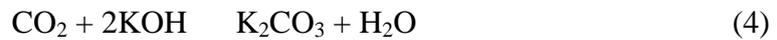
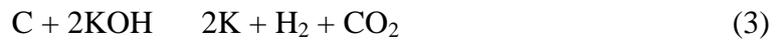
**Gambar 4.** Diagram umum pembuatan karbon aktif (Reinoso, 2002).

Karbon aktif dapat diproduksi melalui aktivasi fisik dan aktivasi kimia seperti yang terlihat pada Gambar 4. Aktivasi fisik melibatkan perlakuan prekursor karbon pada suhu tinggi (700-1200 °C) dengan kehadiran gas pengoksidasi seperti uap, CO<sub>2</sub> dan udara. Aktivasi kimia dilakukan pada suhu yang lebih rendah (400-700 °C) menggunakan agen pengaktivasi seperti natrium hidroksida, kalium hidroksida, seng klorida dan asam fosfat (Pandolfo dan Hollenkamp, 2006). Struktur berpori dari karbon aktif yang diperoleh menggunakan proses aktivasi memiliki distribusi ukuran pori yang luas, yang terdiri dari mikropori (<2 nm), mesopori (2-50 nm) dan makropori (> 50 nm) (Marsh dan Reinoso, 2006). Kalium hidroksida yang biasanya digunakan untuk

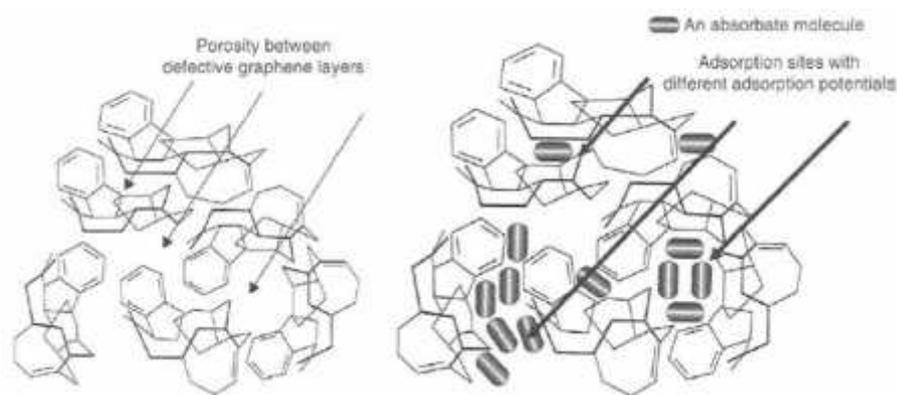
menjadi adsorben karbon dari produk lignoselulosa memungkinkan untuk meningkatkan karbon mikropori dan mesopori dengan luas permukaan spesifik, tergantung pada suhu aktivasinya (Jianzhong, dkk., 2014).



Reaksi yang terjadi selama proses aktivasi menggunakan kalium hidroksida ditunjukkan oleh Persamaan 3 dan 4.



Selama proses aktivasi, kalium akan berdifusi ke dalam matriks karbon untuk memperbesar volume pori karbon sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsinya seperti yang terlihat pada Gambar 5. Kalium karbonat dapat yang dihasilkan dapat mencegah pembakaran sampel yang berlebihan sehingga dihasilkan porositas yang berkembang dengan baik (Collins dkk., 2006).



**Gambar 5.** Struktur karbon yang rusak ketika saling berhubungan membentuk mikroporositi (Byrne dan Marsh, 1995).

Sabio dan Reinoso (2004), melakukan penelitian tentang preparasi butiran karbon aktif menggunakan agen pengaktivasi KOH tanpa pengolahan butiran karbon menjadi bubuk. Hasil dari aktivasi dengan KOH adalah (i) reaktan bertindak setelah pembakaran prekursor pada suhu di atas 700 °C; (ii) pengembangan porositas berkaitan dengan tingkat peresapan dengan KOH; (iii)

porositas sempit terbentuk diikuti oleh mikroporositas yang lebih luas; (iv) dapat berlangsung tanpa pengolahan butiran karbon menjadi bubuk.



Kualitas karbon aktif dapat dinilai berdasarkan persyaratan Standar Industri Indonesia (SII) No. 0258-1995 pada Tabel 1 (Laos dkk., 2006).

**Tabel 1.** Standar kualitas karbon aktif berdasarkan persyaratan SII No. 0258-1995 (Laos dkk., 2006).

Uraian	Persyaratan Kualitas	
	Butiran	Serbuk
Kadar air (%)	Maks. 4,5	Maks. 15
Kadar abu (%)	Maks. 2,5	Maks. 10
Daya serap terhadap Iodium (mg/g)	Min 750	Min 750

Biaya produksi karbon aktif yang meningkat telah mendorong minat untuk menggunakan bahan baku yang lebih murah untuk proses produksi karbon aktif (Rengarag dkk., 2002). Berbagai produk sampingan dan limbah pertanian telah diselidiki sebagai prekursor untuk produksi karbon aktif. Prekursor ini termasuk tempurung kelapa dan kayu (Laine dkk., 1989), ampas tebu (Ahmedna dkk., 2000), biji palem (Rengarag dkk., 2002) dan tempurung kemiri (Lempang, dkk., 2011).

### 2.3 Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*) sebagai Sumber Karbon Aktif

Kemiri (*Aleurites moluccana*) merupakan salah satu pohon serbaguna yang dibudidayakan secara luas di dunia. Di Indonesia, kemiri telah lama ditanam, baik untuk tujuan komersial maupun subsisten untuk menunjang kehidupan masyarakat sehari-hari. Tanaman ini dapat digunakan untuk berbagai tujuan, bijinya dapat digunakan sebagai bahan masakan dan obat-obatan (Krisnawati dkk., 2011).

Menurut Krisnawati dkk. (2011), taksonomi tanaman kemiri adalah

sebagai berikut:

Tanaman : *Aleurites moluccana* L.

Familia : Euphorbiaceae



Submarga : Crotonoideae

Sinonim : *Aleurites javanica* Gand., *Aleurites remyi* Sherff, *Aleurites triloba* Forster & Forster f., *Camirium moluccanum* L., *Croton moluccanus* L., *Jatropha moluccana* L.



**Gambar 6.** Tempurung Kemiri (Tambunan dkk., 2014).

Tempurung kemiri merupakan limbah organik yang dapat terurai namun dengan teksturnya yang cukup keras membutuhkan waktu untuk menguraikannya secara alamiah, sehingga dilakukan berbagai upaya untuk memanfaatkan limbah kulit kemiri. Pemanfaatan limbah kulit kemiri selain untuk menanggulangi penumpukan limbah kulit kemiri juga diharapkan dapat menghasilkan produk yang aman dan ramah lingkungan. Dengan memperhatikan faktor lingkungan tersebut, maka kulit kemiri dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif (Surest dkk., 2008).

**Tabel 2.** Komponen kimia tempurung kemiri (Darmawan dkk., 2016).

Senyawa	Kadar (%)
Selulosa	25,77
Hemiselulosa	28,73
Total lignin	36,02
Alkohol-benzena terlarut	8,53

Hasil analisis tempurung kemiri pada Tabel 2 menunjukkan kandungan lignin yang tinggi. Kandungan lignin pada tempurung kemiri menyumbangkan



hasil yang sangat tinggi untuk karbon aktif dengan baik, sementara selulosa memiliki kontribusi yang baik dalam pembentukan mikropori pada karbon aktif yang dihasilkan (Cagnon dkk., 2009; Peters, 2011). Kandungan karbon dalam lignin lebih besar dari pada selulosa dan hemiselulosa (Cao dkk., 2014). Lignin juga lebih tahan terhadap panas dibandingkan selulosa dan hemiselulosa (Poletto dkk., 2012).

Zakir dkk. (2018) melakukan penelitian mengenai potensial tempurung kemiri sebagai material karbon superkapasitor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivasi karbon tempurung kemiri meningkatkan luas permukaan material karbon. Peningkatan luas permukaan terjadi karena pembentukan pori-pori baru setelah aktivasi. Luas permukaan karbon aktif tempurung kemiri sebelum dan sesudah modifikasi masing-masing adalah  $105,127 \text{ m}^2/\text{g}$  dan  $135,167 \text{ m}^2/\text{g}$ .

#### **2.4 Material *Nitrogen-Doped Carbon* (NDC)**

Beberapa metode telah digunakan untuk memodifikasi sifat fisika dan kimia dari material karbon dengan tujuan untuk meningkatkan reaktivitas elektrokimia. Selain optimalisasi sifat morfologi, modifikasi kimia permukaan karbon telah dieksplorasi untuk meningkatkan aktivitas elektrokimia dari material karbon. Proses doping heteroatom seperti O, N, B, S dan halogen ke dalam matriks karbon memiliki peran penting dalam meningkatkan kinerja katalitik (Li dkk., 2006).

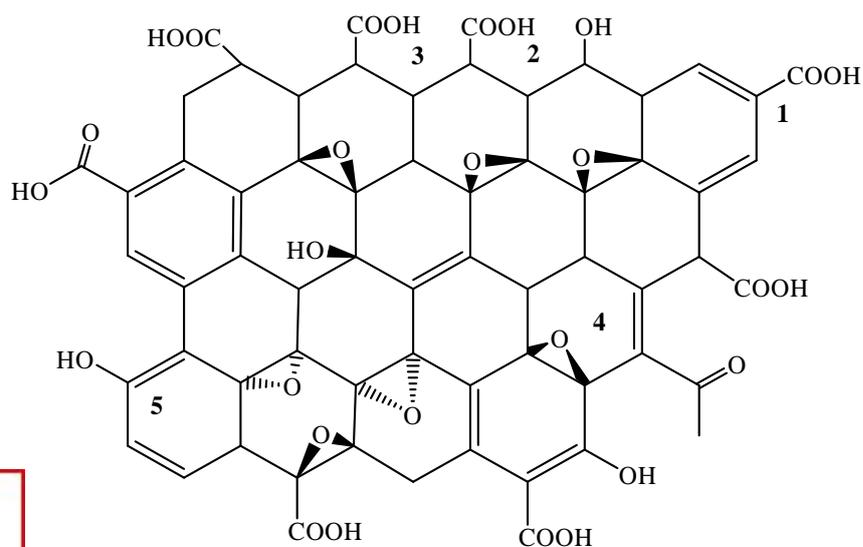
Karbon yang didoping atom asing dapat memberikan efek pseudokapasitif

material karbon, dimana ikatan valensi baru dapat terbentuk pada permukaan karbon. Gugus fungsional tersebut menyebabkan reaksi reduksi oksidasi yang cepat dalam elektrolit, yang akhirnya memberikan kapasitansi



spesifik yang lebih tinggi pada superkapasitor (Wang dkk., 2015; Gao dkk., 2016; Kim dkk., 2016a). Hidrofilisitas material karbon juga ditingkatkan melalui doping atom non-logam. Gugus fungsional yang terbentuk pada permukaan material karbon dapat mengontrol keseimbangan hidrofobisitas material karbon dan mengatur sifat elektrokimianya (Kim dkk., 2016b; Wang dkk., 2016; Zhu dkk., 2016).

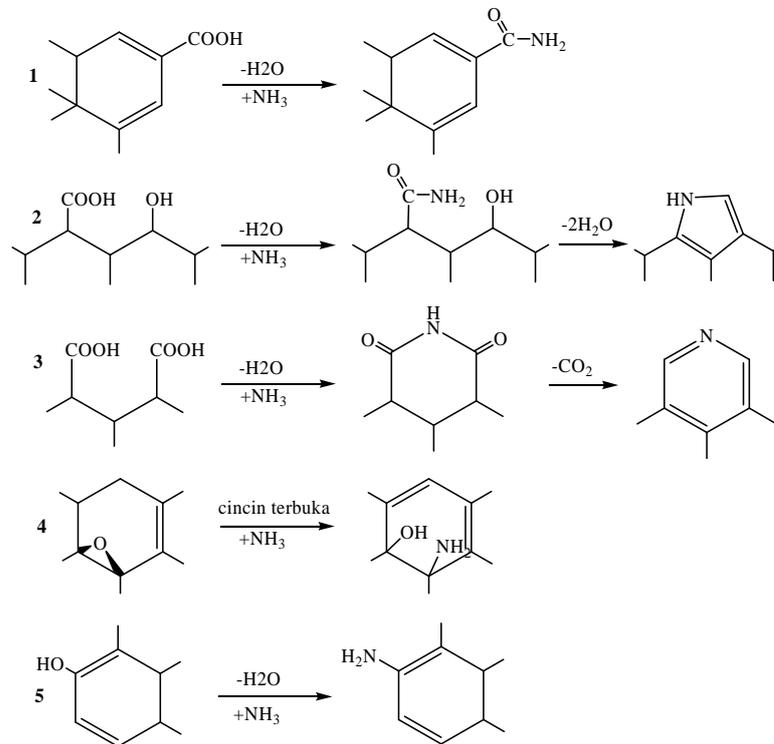
Beberapa jenis material karbon terdoping heteroatom telah diteliti, *nitrogen doped carbon* (NDC) memiliki beberapa keunggulan dibandingkan doping heteoatom yang lain. Contohnya NDC ini berperan sebagai elektrokatalis dalam mereduksi gugus fungsional oksigen yang kompetitif. Hal ini terjadi karena atom nitrogen dapat menyumbangkan pasangan elektron bebas ke substrat karbon dengan mudah, yang kemudian mengalami delokalisasi dalam material karbon. Oleh karena itu, sifat adsorpsi serta laju transfer elektron dari karbon selama proses elektrokatalitik dapat ditingkatkan secara signifikan oleh doping nitrogen (Matter dkk., 2006; Shao dkk., 2008).



7. Gugus fungsi yang terbentuk pada permukaan karbon aktif setelah penambahan  $\text{HNO}_3$  (Baldovino dkk., 2016).



Setelah oksidasi  $\text{HNO}_3$ , beberapa gugus fungsi dihasilkan seperti asam karboksilat kuat ( $-\text{COOH}$ ), fenol ( $-\text{OH}$ ) dan karbonil/quinon ( $=\text{O}$ ) seperti yang terlihat pada Gambar 7. Sejumlah gugus permukaan dapat bereaksi dengan gas  $\text{NH}_3$ , membentuk amida, imida, imina, amina dan nitril, seperti yang terlihat pada Gambar 8. Penambahan  $\text{NH}_3$  akan membentuk ikatan kovalen, kemudian air dilepaskan dan amida terbentuk (Baldovino dkk., 2016).



**Gambar 8.** Reaksi  $\text{NH}_3$  (amonia) dengan gugus fungsional. Reaksi  $\text{NH}_3$  dengan (1) gugus karboksil membentuk amida, (2) gugus karboksil yang membentuk pirol N, (3) gugus karboksil yang membentuk imida dan piridin N, (4) gugus epoksi membentuk aromatik amina, dan (5) gugus hidroksil membentuk aromatik amina (Baldovino dkk., 2016).

Sebagian besar laporan tentang material NDC berkaitan dengan kinerja dalam penyimpanan energi dengan menggunakan superkapasitor (Chen dkk., 2007; Lota dkk., 2005). Horikawa dkk. (2012) menjelaskan sintesis material karbon berpori yang terdoping dengan nitrogen, dengan membuat dua asumsi,



yaitu atom nitrogen yang terdoping bertindak sebagai salah satu gugus fungsi dan atom nitrogen yang didoping mempengaruhi atom karbon di sekitarnya sehingga tingkat afinitas atom karbon menjadi lebih kuat karena efek polarisasi nitrogen (nitrogen memiliki elektron negatif lebih kuat daripada karbon).

Penelitian terkait mengenai pengembangan material *Nitrogen-Doped Carbon* (NDC) telah banyak dilakukan. Lota dkk. (2005) telah menguji aplikasi superkapasitor dari karbon berpori yang diperkaya dengan nitrogen (1,9-7,2% berat) yang disubstitusi pada karbon. Pengukuran voltametri, galvanostatik dan impedansi spektroskopi menunjukkan efek yang menguntungkan dari nitrogen pada nilai kapasitansi dalam medium asam. Peningkatan luas permukaan hingga  $1.400 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  dengan kandungan nitrogen sedang (2,6% berat) mengarah pada sifat kapasitansi superior. Efek dari nitrogen meningkatkan kinerja penggunaan karbon aktif sebagai bahan elektroda pada superkapasitor. Li dkk. (2016) mensintesis *N-doped activated carbon* (NAC) dari tongkol jagung sebagai sumber karbon dengan agen pengaktivasi KOH dan dialiri gas  $\text{NH}_3$  sebagai sumber nitrogen. Hasil penelitian menunjukkan kinerja elektrokimia yang sangat baik dengan kapasitansi spesifik hingga  $129 \text{ mA} \cdot \text{hg}^{-1}$  dan retensi kapasitas 86% dalam 500 siklus. Li dkk. (2017a) juga telah mensintesis karbon aktif yang didoping dengan nitrogen sebagai material elektroda pada superkapasitor melalui teknologi aktivasi kimia dengan menggunakan kulit kacang *Macadamia* sebagai sumber karbon, melamin sebagai sumber nitrogen dan KOH sebagai agen pengaktivasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif yang dialiri nitrogen memiliki luas

an spesifik yang tinggi ( $1.615 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ) dengan kandungan nitrogen sedang

Elektroda karbon aktif yang dialiri nitrogen menunjukkan kapasitansi



yang baik dalam elektrolit encer KOH ( $1 \text{ mol.L}^{-1}$ ). Pada kerapatan arus  $1 \text{ A.g}^{-1}$ , kapasitansi spesifik dari elektroda karbon aktif yang dialiri nitrogen adalah  $229,7 \text{ F.g}^{-1}$ , yang jauh lebih tinggi dari elektroda karbon aktif bebas nitrogen ( $98,4 \text{ F.g}^{-1}$ ). Li dkk. (2017b) telah mensintesis material *Nitrogen-doped Macroporous Carbon* (NMC) melalui proses karbonisasi yang baik, yaitu pra-karbonisasi pada suhu  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  dan kemudian pirolisis pada suhu  $700, 800, 900, 1.000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Replika NMC dengan area permukaan spesifik BET yang tinggi menunjukkan stabilitas yang sangat baik dan dapat didaur ulang serta perilaku kapasitansi yang luar biasa ( $\sim 413 \text{ F.g}^{-1}$ ) dalam elektrolit basa. Penelitian ini dapat memberikan metode untuk mensintesis bahan berpori dengan saluran kontinyu dan pori-pori hirarkis untuk meningkatkan infiltrasi dan transfer massa yang digunakan sebagai elektroda.

