



TUGAS AKHIR - SF 141501

**SINTESIS ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DENGAN
PROSES EKSFOLIASI KIMIA DAN DOPING NH_4OH PADA
GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI DARI TEMPURUNG
KELAPA TUA**

**Ahmad Rizki Kurniawan
NRP 0111144000081**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Darminto**

**Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



TUGAS AKHIR - SF 141501

**SINTESIS ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DENGAN
PROSES EKSFOLIASI KIMIA DAN DOPING NH_4OH PADA
GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI DARI TEMPURUNG
KELAPA TUA**

**Ahmad Rizki Kurniawan
NRP 0111144000081**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Darminto**

**Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

”halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - SF 141501

**SYNTHESIS OF SUPERCAPACITOR ELECTRODE WITH
CHEMICAL EXFOLIATION AND NH_4OH DOPING OF
REDUCED GRAPHENE OXIDE FROM OLD COCONUT
SHELL**

**Ahmad Rizki Kurniawan
NRP 0111144000081**

**Supervisor
Prof. Dr. Darminto**

**Department of Physics
Faculty of Natural Science
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018**

”halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**SINTESIS ELEKTRODA SUPERKAPASITOR
DENGAN PROSES EKSFOLIASI KIMIA DAN
DOPING NH₄OH PADA GRAFENA OKSIDA
TEREDUKSI DARI TEMPURUNG KELAPA TUA**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Fisika Material
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Ahmad Rizki Kurniawan
0111144000081

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr. Darminto
NIP. 19600303 198701 1 002



Surabaya, 22 Juni 2018

”halaman ini sengaja dikosongkan”

Sintesis Elektroda Superkapasitor dengan Proses Eksfoliasi Kimia dan Doping NH_4OH pada Grafena Oksida Tereeduksi Dari Tempurung Kelapa Tua

Penulis : Ahmad Rizki Kurniawan
NRP : 01111440000081
Departemen : Fisika FIA ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Darminto

Abstrak

Penelitian ini menggunakan bahan dasar serbuk arang rGO dari tempurung kelapa tua. Bahan dasar disintesis dengan larutan HCl 1 M dan FeCl_3 di dalam gelas ukur yang diaduk dengan *magnetic stirrer* pada suhu 70°C . Penambahan glukosa dan doping nitrogen dari NH_4OH bertujuan untuk meningkatkan nilai kapasitansi spesifik elektroda superkapasitor selama proses eksfoliasi kimia dan mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan glukosa, penambahan NH_4OH , serta penambahan NH_4OH dan glukosa terhadap nilai kapasitansi serta rapat energi superkapasitor EDLC. Karakterisasi elektroda menggunakan beberapa pengujian. Pengujian bahan dasar meliputi XRD, SEM-EDX, XRF, dan CHONS *Analyzer*. Pengujian pada elektroda hasil sintesis dengan PSA dan CV. Hasil XRD menunjukkan bahwa bahan dasar yang digunakan merupakan rGO dengan sudut difraksi (2θ) = 24° dan 44° . Hasil XRF menunjukkan persentase unsur C pada bahan dasar cukup

besar yakni 53%. Uji SEM-EDX memperlihatkan morfologi bahan dasar yang masih berupa bongkahan (*flakes*) serta persebaran unsur C pada sampel terlihat merata. Pengujian PSA menunjukkan bahwa ukuran partikel sebelum disintesis dapat direduksi setelah proses sintesis. Uji CV memperlihatkan hasil sampel R212 (rGO:HCl:NH₄OH:FeCl₃:Glukosa = 2:2:2:1:2) memiliki nilai kapasitansi terbesar dengan nilai 37,33 F/g dan rapat energinya 74,66 J/g. Hasil menunjukkan bahwa penambahan NH₄OH dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik superkapasitor selama tidak terjadi *over-doped* nitrogen pada rGO, serta lebih efisien apabila ditambahkan glukosa sebesar komposisi rGO.

Kata kunci :Kapasitor, Doping Nitrogen, elektroda

Synthesis of Supercapacitor Electrode with Chemical Exfoliation and NH₄OH Doping of Reduced Graphene Oxide from Old Coconut Shell

Name : Ahmad Rizki Kurniawan
NRP : 01111440000081
Department : Physics, Faculty of Natural Science ITS
Supervisor : Prof. Dr. Darminto

Abstract

This research uses starting material of rGO charcoal powder from old coconut shell. The rGO powder was synthesized with 1 M HCl and FeCl₃ solution stirred with a magnetic stirrer at 70°C. The addition of glucose and doping nitrogen from NH₄OH aim to increase specific capacitance of the supercapacitor electrode during chemical and mechanical exfoliation processes. This study aims to determine the effect of addition of glucose and NH₄OH to the capacitance values and energy density of EDLC superkapasitor. Electrode characterization uses several characterisations. Analyses for the starting material include XRD, SEM-EDX, XRF, and CHONS Analyzer. Testing for the synthetic rGO electrode uses PSA and CV. The result of XRD shows that the basic material in this research is rGO, with diffraction angle (2θ) = 24° and 44°. The result of XRF shows the percentage of element C on the starting material is large enough, that is 53%. The result of SEM-EDX shows the morphology of the basic material

rGO that is still in the form of flakes and the distribution of element C in the sample is evenly distributed. The result of PSA shows that the size of the particles can be reduced after the synthesis process. The result of CV shows the sample of R212 (rGO: HCl: NH₄OH: FeCl₃: Glucose = 2: 2: 2: 1: 2) has the largest capacitance value with a value of 37.33 F/g and energy density 74.66 J/g. The results above show the addition of NH₄OH may increase the value of the specific capacitance of the supercapacitor in the absence of over-doped nitrogen in the rGO, and more efficient when glucose is added as much as the rGO composition.

Keywords :capasitor, doping nitrogen, electrode

KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir di Departemen Fisika FIA ITS dengan judul:

“Sintesis Elektroda Superkapasitor dengan Proses Eksfoliasi Kimia dan Doping NH_4OH pada Grafena Oksida Tereduksi dari Tempurung Kelapa Tua”

Penulis menyadari bahwa terselesainya penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah, Ibu, Mbak dan Mas tercinta yang telah memberi pengajaran, pemahaman, doa, dan dukungan terbaik bagi Penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Darmintoselaku dosen pembimbing yang sangat membantu dalam memberi dukungan, bimbingan, dan wawasan sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng selaku Ketua Departemen Fisika FIA ITS.
4. Bapak dan Ibu Dosen yang telah mendidik dan memberi ilmu kepada Penulis selama berkuliah di Departemen Fisika FIA ITS.
5. Irma Septi Ardiani selaku teman satu topik penelitian yang telah banyak membantu serta berdiskusi mengenai penelitian hingga tugas akhir ini selesai.

6. Teman – teman satu bimbingan Khoirotun, Syaiful, Anna, dan Firsta yang telah membantu, mendukung dan mendoakan selama penelitian ini.
7. Teman-teman bidang material fisika FIA ITS, Nindita, Daya, Ojan, Natasza, Dwi Wahyu, Firda, Dina Mardiana, Dina Andriyani, Anita, Romdhoni, Sulthon, Dwi Irma, Rahma, Mas Han, dan lainnya yang menemani Penulis ketika berada di Laboratorium material.
8. Teman – teman MTsN, Dila, Ishom, Putri, Athi, Chafid dan teman – teman SMA Rahma dan Latul serta teman jauh Padrian yang telah memberi dukungan, doa, menemani serta penyemangat bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
9. Teman–teman ANTARES 2014 yang senantiasa menemani perkuliahan penulis hingga terselesainya tugas akhir.
10. Teman – teman internasional, Gabriel Ferreira Batista dan Kai de Gier yang telah memberi dukungan dan cerita penyemangat dari jauh.
11. Mas-mas dan Mbak-mbak 2010, 2011, 2012, dan 2013 serta alumni Departemen Fisika FIA ITS.
12. Adik-adik angkatan Fisika FIA ITS 2015, 2016, dan 2017.
13. Semua pihak yang telah membantu, mendukung, dan mendoakan penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan serta dapat menjadi sumbangan bagi

almamater tercinta dalam pengembangan ilmu
pengetahuan dan teknologi di masa yang akan datang.

Surabaya, 13 Juni 2018
Penulis

”halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER	iii
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II Tinjauan Pustaka.....	7
2.1 <i>Graphene</i>	7
2.2 Grafena Oksida Tereduksi.....	9
2.3 Tempurung Kelapa Tua.....	11

2.4 Grafena Oksida Tereeduksi Tempurung Kelapa Tua	13
2.5 N-Doped <i>Graphene</i>	16
2.6 Penyayatan (<i>Exfoliation</i>)	19
2.7 Superkapasitor	20
BAB III METODOLOGI.....	245
3.1 Alat dan Bahan	25
3.1.1 Alat	25
3.1.2 Bahan.....	25
3.2 Prosedur Penelitian	25
3.2.1 Tahap Pembuatan rGO	25
3.2.2 Tahap Pembuatan Elektroda.....	26
3.3 Karakterisasi Material.....	26
3.4 Diagram Alur Penelitian.....	29
3.4.1 Sintesis rGO Tempurung Kelapa	29
3.4.2 Sintesis Elektroda Superkapasitor	30
3.5 Waktu dan Pelaksanaan Tugas Akhir	31
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Analisis Struktur rGO Bahan Dasar	33
4.2 Analisis Komposisi rGO Bahan Dasar	34
4.3 Analisis Ukuran Partikel Serbuk Elektroda	38
4.4 Analisis Kapasitansi Spesifik Elektroda	45
4.5 Analisis Morfologi Elektroda	55

BAB V KESIMPULAN	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN	67
BIODATA	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Ikatan Atom Hexagonal pada Graphene 2D, (b) Skema Ikatan π dan σ pada Graphene.....	8
Gambar 2.2 Polimorf Karbon, (a). Grafit, (b). Bucky Ball, (c). Carbon Nano Tube (CNT), (d). Graphene.....	9
Gambar 2.3 (a) Grafit, (b) Grafit Oksida, (c) Grafit Oksida Tereduksi.....	10
Gambar 2.4 Bagian-bagian Kelapa.....	12
Gambar 2.5 Grafik XRD dari lapisan nano GO dan rGO serta dari arang tempurung kelapa tua yang dipanaskan pada suhu 400°C selama 5 jam.....	14
Gambar 2.6 Spektrum FTIR Arang Tempurung Kelapa Tua dengan Pemanasan selama 5 jam pada suhu 400°C.....	15
Gambar 2.7 Hasil <i>Fitting</i> Spektroskopi Raman dari Arang Tempurung Kelapa.....	16
Gambar 2.8 Jenis Ikatan Antar Atom Karbon dengan Nitrogen pada N-Graphene.....	17
Gambar 2.9 <i>Exfoliation</i> (penyayatan) Menggunakan Asam dan Perlakuan Termal.....	20
Gambar 2.10 Skema Proses Charge dan Discharge pada EDLC.....	21
Gambar 3.1 Diagram Alur Produksi rGO Tempurung kelapa.....	29
Gambar 3.2 Diagram Alur Produksi Elektroda Superkapasitor.....	30

Gambar 4.1 Pola Difraksi (a) bahan dasar RGO, (b) rGO penelitian Fu, (c) rGO penelitian Nugraheni, (d) rGO penelitian Gilang.....	34
Gambar 4.2 Hasil Pengukuran PSA pada Bahan Dasar Serbuk Arang rGO Tanpa Perlakuan.....	39
Gambar 4.3 Hasil Uji PSA Sampel Variasi Pengaruh Glukosa.....	41
Gambar 4.4 Hasil Uji PSA Sampel Variasi Pengaruh NH_4OH	41
Gambar 4.5 Hasil Uji PSA Sampel Variasi Pengaruh Glukosa dan NH_4OH	42
Gambar 4.6 Bentuk Gelombang Potensial Keluaran saat Pengujian CV.....	46
Gambar 4.7 Uji Cyclic Voltammetry Pengaruh Penambahan Glukosa pada Sampel.....	48
Gambar 4.8 Uji Cyclic Voltammetry Pengaruh Penambahan NH_4OH pada Sampel.....	51
Gambar 4.9 Uji Cyclic Voltammetry Pengaruh Penambahan NH_4OH dan Glukosa pada Sampel.....	51
Gambar 4.10 Morfologi Bahan Dasar rGO dengan (a) SEM perbesaran 1000x, (b) EDX.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Jadwal Perencanaan Kerja.....	31
Tabel 4.1. Komposisi Sampel rGO dari Tempurung Kelapa Menurut Data Pengujian XRF dan CHONS <i>Analyzer</i>	36
Tabel 4.2. Hasil perhitungan kapasitansi spesifik elektroda superkapasitor.....	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya angka kebutuhan manusia terhadap peralatan elektronik menyebabkan kebutuhan akan perangkat penyimpanan energi listrik meningkat pula. Media penyimpanan energi yang umum digunakan oleh sebagian besar masyarakat ialah kapasitor dan baterai. Keduanya memiliki kelebihan dan kekurangannya masing – masing, seperti halnya kapasitor dengan waktu pengisian daya yang relatif lebih cepat daripada baterai, namun rapat energi yang dimiliki baterai lebih besar dibandingkan dengan kapasitor. Perangkat penyimpan energi lainnya terbagi menjadi beberapa jenis seperti *fuel cell*, *flywheels*, serta superkapasitor (Conway, 1999).

Superkapasitor merupakan perangkat yang memiliki rapat energi besar, memiliki daur hidup yang panjang, serta pengisian yang cepat. Sehingga perangkat ini efektif dalam menyimpan energi. Hal ini sesuai dengan diagram ragone (*ragone plot diagram*) yang menempatkan superkapasitor dalam daerah yang paling menguntungkan (Conway, 1999). Superkapasitor merupakan suatu jenis perangkat penyimpanan energi elektrokimia yang menyimpan dan melepaskan energi melalui pengumpulan muatan elektrokimiawi atau reaksi faraday pada antarmuka elektrokimia diantara elektroda dan elektrolit. Berdasarkan mekanisme pengisian muatan dan material elektrodanya, superkapasitor elektrokimia dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama yakni *electrical double layer capacitor* (EDLC), *pseudocapacitor*, dan *hybrid capacitor* (Balaji et al., 2016).

Dalam pembuatan superkapasitor hal lain yang perlu diperhatikan adalah dari segi material yang digunakan harus memiliki kualifikasi yang tepat. Material ini diharapkan memiliki ukuran yang relatif kecil (berorde nano), ringan, mudah diperoleh, serta sifat kelistrikan dan mekanik yang baik. Salah satu material yang cocok dan menjadi topik besar saat ini adalah *graphene*. *Graphene* merupakan material berbasis *carbon* sebagai penyusun utamanya. Penelitian lebih lanjut menyatakan bahwa *graphene* dapat digunakan sebagai superkapasitor jenis EDLC dikarenakan konduktivitas listrik yang baik serta memiliki luas permukaan spesifik yang besar (Balaji et al., 2016).

Untuk memperoleh material *graphene* dibutuhkan metode yang cukup rumit dan memakan waktu yang lama. Namun, terdapat alternatif material serupa lainnya yakni grafena oksida tereduksi (*reduced Graphene Oxide*) atau rGO. rGO merupakan fase sebelum terciptanya *graphene* murni (hanya ikatan C) pada pembuatannya dengan metode Hummer dan berasal dari batuan grafit (Loryuenyong et al., 2013). Selain metode Hummer yang cukup rumit dan lama, ada cara lain untuk mendapatkan material rGO ini dengan sekali proses pembakaran pada tempurung kelapa tua. Proses pembakaran ini diklaim mampu menghasilkan rGO yang setara dengan rGO grafit pada umumnya. Hasil pembakaran ini telah menunjukkan hasil ikatan C-C dan C=C pada uji FTIR, yang mana molekul ini merupakan molekul inti dari *graphene*, serta ikatan - ikatan lain seperti C-H, C-O, O-H, dan C=O yang menunjukkan fasa rGO (Nugraheni et al., 2015).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa proses *doping* material N kedalam *graphene* mampu menghasilkan kapasitansi spesifik mencapai 280 F/g. Angka ini diklaim memiliki 4 kali lebih besar daripada kapasitansi spesifik dari *graphene* murni. Pendopngan dilakukan dengan metode *simple plasma process*

tanpa menghilangkan sifat – sifat unggulan yang dimiliki oleh *graphene* (Jeong et al., 2011). Selain itu pada penelitian lain, penggunaan NH_4OH sebagai bahan aditif pada superkapasitor cukup menjanjikan dalam meningkatkan nilai kapasitansi. NH_4OH dapat bertindak sebagai pengikat antar komposit serta sebagai penghalang (*spacer*) antar lapisan rGO. Hal ini akan meningkatkan luas permukaan kapasitor. Seiring dengan peningkatan luas permukaan, maka nilai kapasitansi akan ikut meningkat. NH_4OH telah terbukti meningkatkan nilai kapasitansi menjadi 208,47 F/g (Safitri et al., 2017).

Pada penelitian ini akan menggunakan material FeCl_3 yang memanfaatkan ion Fe^{3+} seperti pada oksida Fe_3O_4 untuk pseudokapasitor. Kemudian rGO tempurung kelapa tua yang merupakan material penyusun EDLC serta ramah lingkungan, glukosa yang bertindak sebagai penghalang antar lapisan untuk meluaskan permukaan kapasitor, dan NH_4OH yang mampu meningkatkan dipol – dipol ikatan unsur di dalam elektroda superkapasitor. Sehingga diharapkan dengan aplikasi pencampuran dari rGO / HCl / NH_4OH / FeCl_3 / Glukosa akan menghasilkan superkapasitor yang ramah lingkungan, memiliki nilai kapasitansi tinggi, serta daur hidup yang panjang.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang ada pada penelitian tugas akhir ini antara lain :

1. Bagaimana fasa, komposisi, distribusi ukuran partikel, dan morfologi dari bahan dasar arang tempurung kelapa tua, serta pengaruh eksfoliasi kimia dan mekanik pada rGO hasil sintesis terhadap nilai kapasitansi spesifik superkapasitor.

2. Bagaimana pengaruh penambahan komposisi NH_4OH terhadap nilai kapasitansi spesifik superkapasitor.
3. Bagaimana pengaruh penambahan glukosa pada elektroda dengan doping NH_4OH dan tanpa doping NH_4OH terhadap nilai kapasitansi spesifik superkapasitor.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian pada tugas akhir ini antara lain :

1. Mengetahui fasa, komposisi, distribusi ukuran partikel, dan morfologi rGO dari bahan dasar arang tempurung kelapa tua, serta pengaruh eksfoliasi kimia dan mekanik pada rGO hasil sintesis terhadap nilai kapasitansi spesifik superkapasitor.
2. Mengetahui pengaruh penambahan komposisi NH_4OH terhadap nilai kapasitansi spesifik superkapasitor.
3. Mengetahui pengaruh penambahan glukosa pada elektroda dengan doping nitrogen dan tanpa doping nitrogen terhadap nilai kapasitansi spesifik superkapasitor.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian tugas akhir ini, permasalahan dibatasi pada sintesis rGO yang disesuaikan dengan penelitian sebelumnya, yaitu batok kelapa setelah dibakar, dipanaskan dalam *furnace* dengan suhu 400°C selama 5 jam. Proses eksfoliasi kimia dilakukan dengan penambahan HCl dan eksfoliasi mekanik menggunakan ultrasonikasi. Komposisi campuran menggunakan perbandingan rGO : HCl : NH_4OH : FeCl_3 : Glukosa = 2:2:0:1:0, 2:2:0:1:2, 2:2:1:1:0, 2:2:2:1:0, 2:2:2:1:2, dan 2:2:4:1:2.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang pengaruh eksfoliasi kimia dan mekanik terhadap ketebalan rGO, dan nilai kapasitansi spesifik superkapasitor berbasis rGO tempurung kelapa tua. Penelitian ini membahas tentang pengaruh komposisi campuran rGO / HCl / NH₄OH / FeCl₃ / Glukosa terhadap nilai kapasitansi spesifik dan rapat energi elektroda superkapasitor EDLC.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Bab Pendahuluan ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab tinjauan pustaka berisi tentang teori dan konsep dasar penunjang penelitian mengenai superkapasitor EDLC yang didoping nitrogen.

BAB III : Metodologi

Bab Metodologi berisi tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB IV : Analisa dan Pembahasan

Bab Pembahasan ini berisi inti dari penulisan laporan Tugas Akhir tentang superkapasitor EDLC berbasis rGO

tempurung kelapa tua yang didoping dengan nitrogen dari NH_4OH dan glukosa.

BAB V

: Penutup

Bab Penutup ini berisi kesimpulan umum dari hasil analisa dan disertai saran yang berlaku bagi penelitian selanjutnya.

LAMPIRAN

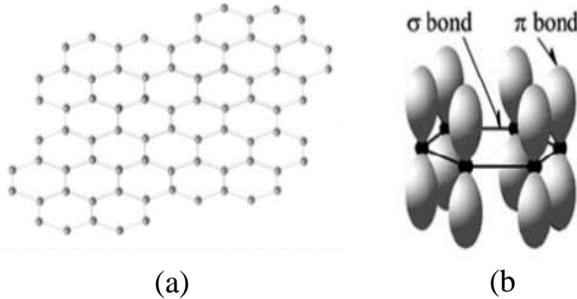
:Lampiran berisi beberapa Gambar penunjang penelitian.

BAB II

Tinjauan Pustaka

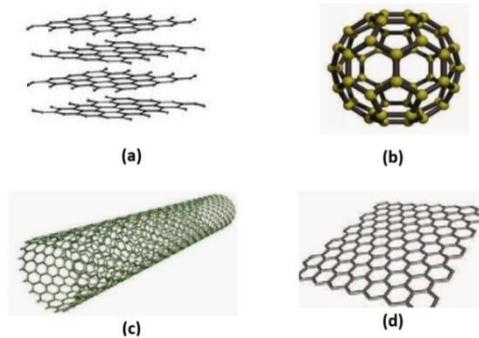
2.1 *Graphene*

Karbon merupakan material penyusun dari semua material organik serta memiliki berbagai polimorf. Karbon dapat diproduksi melalui pembakaran (karbonisasi) dan *pyrolysis*. Karbon memiliki nomor atom 6 dengan konfigurasi elektron $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ yang termasuk sebagai elemen tetravalen (memiliki elektron valensi 4). Ketika terjadi ikatan dengan atom lain, maka elektron yang berada pada orbital 2s akan mengalami hibridisasi untuk mengisi orbital $2p_z$ yang kosong sehingga membentuk orbital sp^3 (Warner, 2013). Konfigurasi ini memungkinkan 4 atom valensi yang dimiliki oleh karbon untuk mengikat 4 atom lainnya. Pada *graphene* keempat atom karbon mengikat karbon lainnya dengan dua ikatan tunggal serta satu ikatan rangkap dua, dengan kata lain hanyalah C–C dan C=C, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1 (a) (Geim and Novoselov, 2015). Ikatan pada *graphene* memiliki tiga ikatan σ antar atom karbon yang sebidang (*in-plane*) serta ikatan orbital π yang tegak lurus terhadap bidang. Oleh sebab ikatan π memiliki *bonding* dan *anti – bonding* maka pada ikatan inilah yang menjadi penentu sifat yang dimiliki *graphene* utamanya sifat kelistrikannya, hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.1 (b). Kemudian, pada ikatan π ini terjadi pada antarbidang hasil hibridisasi elektron untuk mengisi orbital $2p_z$. Oleh karenanya letak ikatan ini cenderung memiliki energi ikat inti terkecil, dan karenanya mudah bereaksi atau terputus membentuk struktur rGO maupun GO (Singh et al., 2011).



Gambar 2.1 (a) Ikatan Atom Hexagonal pada *Graphene* 2D, (b) Skema Ikatan π dan σ pada *Graphene* (Choi et al., 2010)

Graphene adalah susunan atom karbon dalam kerangka heksagonal serupa sarang lebah yang membentuk satu lembaran setipis satu atom pada 2D seperti pada Gambar 2.1 (a) diatas.. Perbedaan struktur fisik dari karbon yang membuatnya memiliki berbagai nama alotrop yaitu *graphene*, *graphite*, *fullerenes*, dan *carbon nanotubes* (Geim and Novoselov, 2015). Grafena (2D) memainkan peran penting karena merupakan dasar untuk memahami sifat elektronik dalam alotrop lainnya. Grafena dapat dianggap tersusun dari cincin benzene yang dilepaskan dari atom hidrogennya. Penemuan *graphene* secara eksperimental terjadi tahun 2004. *Graphene* merupakan satu lapis (tebal ± 0.34 nm) atom karbon yang mengalami hibridisasi sp^2 (berikatan kovalen dengan 3 atom lainnya) dengan susunan kisi segi enam planar (honeycomb lattice 2D) membentuk struktur yang unik, baik sifat mekanik maupun kelistrikan, hal ini sesuai dengan visualisasi pada Gambar 2.2 sebagai berikut (Geim and Novoselov, 2015).



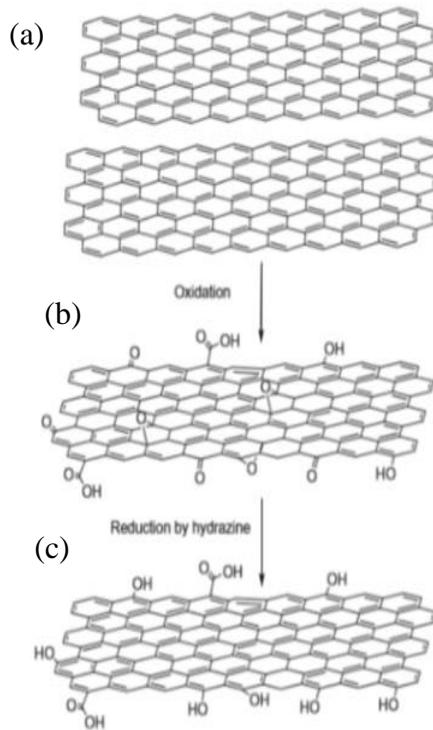
Gambar 2.2 Polimorf Karbon, (a). Grafit, (b). Bucky Ball, (c). Carbon Nano Tube(CNT), (d). *Graphene*(Geim and Novoselov, 2015)

Struktur *graphene* yang berbentuk heksagonal, menyebabkan *graphene* memiliki sifat yang baik antara lain mobilitas muatan yang tinggi ($230,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) dengan 2.3% kemampuan penyerapan cahaya, konduktivitas termal yang tinggi ($3000 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), kekuatan tarik tertinggi (130 GPa), dan luas permukaan terbesar ($2600 \text{ m}^2/\text{g}$) (Singh et al., 2011).

2.2 Grafena Oksida Tereeduksi

Graphene merupakan turunan yang paling sederhana yang diperoleh dari batuan grafit (*graphite*). Grafit merupakan bentuk material karbon berlapis banyak dan bertumpuk serta amorphus yang didalamnya banyak terkandung unsur lain selain karbon, utamanya oksigen dan hidrogen. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa tumpukan banyak grafit ini ialah *graphene* yang saling berikatan sekunder (*secondary bonding*) yakni ikatan *Van der waals*. Apabila grafit ini diberi perlakuan oksidasi maka akan terjadi penambahan jumlah oksigen yang mengakibatkan

merengangnya ikatan *Van der waals*, material ini disebut dengan GO (*Graphene Oxide*). Selanjutnya diperoleh material rGO (*reduced Graphene Oxide*) sebagai hasil dari reduksi atom - atom oksigen dan hidrogen, sehingga terdapat ikatan yang kosong akan oksigen. rGO adalah material yang paling mendekati struktur dan sifatnya dengan *graphene* (Wu et al., 2015). Secara visual grafit, GO, dan rGO dapat dilihat pada Gambar 2.3 sebagai berikut.



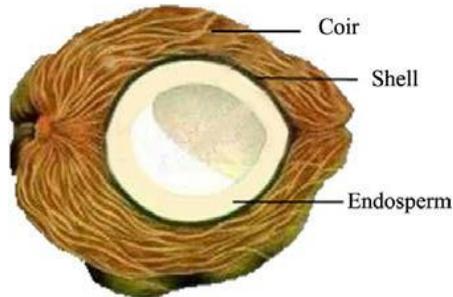
Gambar 2.3 (a) Grafit, (b) Grafit Oksida, (c) Grafit Oksida Tereduksi (Singh et al., 2011)

Pembuatan material GO maupun rGO terbilang relatif lebih mudah bila dibandingkan dengan pembuatan *graphene*. Uniknyanya lagi material GO terlebih rGO telah banyak dibahas secara mendalam mengenai kemampuannya menggantikan peran *graphene* karena kemiripan sifat fisis maupun kimiawinya. Dalam pembuatan rGO secara kimiawi terdapat beberapa reagen yang digunakan dalam oksidasi seperti sulfida, hydrazine, NaBH_4 , H_2SO_4 , dan berbagai asam kuat lainnya. Sedangkan secara mekanik, rGO dapat diproduksi melalui proses eksfoliasi (penyayatan) menggunakan teknik sonikasi. GO dan rGO menunjukkan hasil yang baik dalam hal kimiawi, sifat optik, serta sifat kelistrikan yang baik yang berasal dari gugus fungsi oksigen serta struktur grafena. Sifat ini menghasilkan sifat hidrofobik dan menghasilkan koloid yang stabil (Guerrero-Contreras and Caballero-Briones, 2015).

2.3 Tempurung Kelapa Tua

Perkebunan Kelapa merupakan salah satu produk perkebunan utama di beberapa negara di Asia seperti India dan Indonesia sebagai negara tropis. Indonesia memiliki sumber daya alam yang sangat berlimpah seperti buah kelapa (*cocos nucifera*) yang pemanfaatannya masih sangat terbuka untuk dikaji dan dikembangkan lebih lanjut untuk dapat dimanfaatkan secara optimal. Mengingat bahwa meskipun hampir semua bagian dari buah kelapa dapat diambil manfaatnya, namun banyak pula yang terbuang menjadi sampah seperti bagian serabut dan tempurungnya. Salah satu pemanfaatan tempurung kelapa adalah dijadikan sebagai bahan bakar arang. Arang tempurung kelapa biasanya diolah lebih lanjut menjadi briket dan hingga saat ini digunakan oleh masyarakat untuk keperluan rumah tangga, usaha

maupun industri. Penggunaan arang tempurung kelapa telah lama dilakukan dan telah menjadi bahan kajian lanjut untuk penelitian. Dari komposisi kimia tempurung kelapa itu sendiri yang terdiri dari 74,3% C, 21.9% O, 0.2% Si, 1.4% K, 0.5% S, 1.7% P menjadikannya berpeluang sebagai bahan bakar dan sumber karbon aktif (Budi, 2011). Tempurung kelapa merupakan bagian yang keras pada kelapa yang memiliki ketebalan antara 3-8 mm yang sebagian besar terdiri dari lignin, selulosa, dan hemiselulosa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Tempurung kelapa dapat diubah menjadi arang maupun karbon teraktivasi melalui proses karbonisasi (Liyanage and Pieris, 2015).



Gambar 2.4 Bagian-bagian Kelapa (Bledzki et al., 2010)

Karbonisasi merupakan proses konversi dari suatu zat organik menjadi karbon. Karbonisasi dilakukan dengan pembakaran untuk menghilangkan kandungan air dan material yang mudah menguap. Tempurung kelapa yang telah menjadi arang akan menghasilkan sebagian besar karbon sebesar 57.11 %, oksigen 42.67 %, dan material lain sebesar 0.23% (Bledzki et al., 2010). Arang menghasilkan karbon sisa yang banyak dan peningkatan kandungan abu, namun peningkatan abu ini tetap tidak sebanyak peningkatan kandungan karbonnya. Perubahan lain yang mencolok adalah penghilangan kandungan bahan campuran (*moisture*) dan

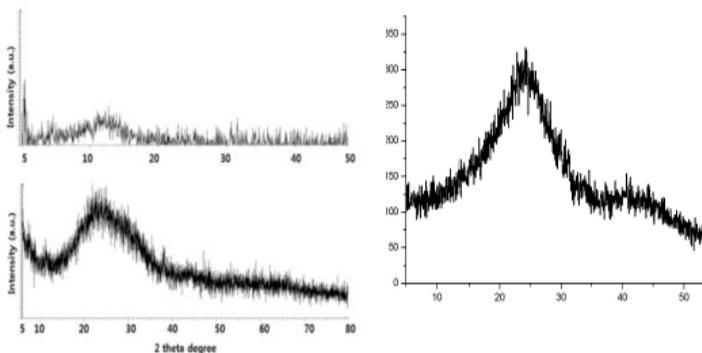
bahan mudah uap (*volatile*). Dibandingkan dengan komposisi akhir pada bahan alami lain seperti batang (cob) biji jagung kulit padi dan cangkang koko (cocoa) yang berkisar antara (12-20% C), arang tempurung kelapa memiliki kandungan karbon yang lebih banyak sehingga berpotensi untuk diteliti lebih lanjut melalui uji XRD. Perubahan tempurung kelapa menjadi arang meningkatkan sifat termal bahan itu sendiri akibat peningkatan kandungan karbon, yang semula sebesar 18,388 kJ/kg menjadi 30,75 kJ/kg (Budi, 2011).

Holoselulosa merupakan istilah yang digunakan untuk menyebutkan selulosa dan hemiselulosa. Selulosa adalah senyawa organik dengan formula $(C_6H_{10}O_5)_n$ yang terdapat pada dinding sel dan berfungsi untuk menguatkan struktur. Hemiselulosa dengan formula $(C_5H_8O_4)_n$ adalah polimer polisakarida heterogen yang tersusun dari unit D-Glukosa, L-Arabiosa, dan D-Xilosa yang mengisi ruang antara serat selulosa di dalam dinding sel tumbuhan. Sehingga hemiselulosa adalah matriks pengisi serat selulosa. Komponen lainnya yaitu lignin dengan formula $[(C_9H_{10}O_3)(CH_3O)]_n$ berfungsi sebagai pengikat sel-sel yang lain dan memberikan kekuatan. Selulosa, hemiselulosa, dan lignin sangat berpengaruh terhadap kandungan fasa karbon yang terbentuk (Choi et al. 2010).

2.4 Grafena Oksida Tereduksi Tempurung Kelapa Tua

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nugraha (2014), telah diperoleh bahwa terdapat fasa grafena oksida tereduksi (rGO) dari hasil XRD pada arang tempurung kelapa tua yang dipanaskan pada suhu 400°C selama 5 jam. Pola XRD pada suhu 400°C dengan waktu penahanan selama 5 jam memiliki posisi puncak yang sama dengan grafena oksida tereduksi

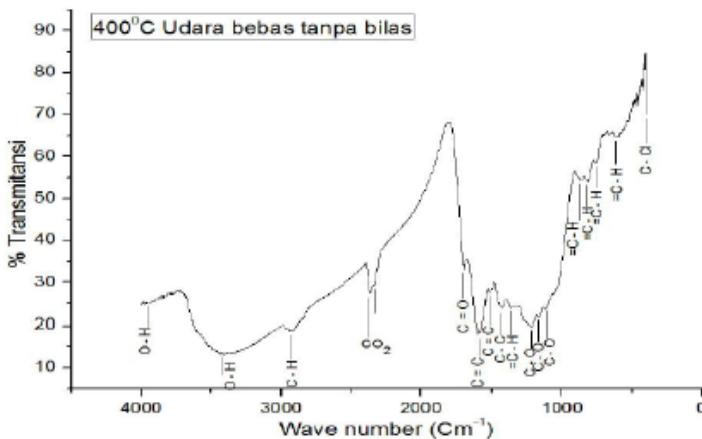
disekitar 24° dan 43° (Nugraheni et al., 2015). Hasil tersebut sama dengan penelitian lain oleh Choi (2016) dimana memiliki puncak difraksi yang lebar dengan bidang (002) sekitar sudut 24° dan di sudut 43° dengan bidang (100), hal ini ditunjukkan seperti pada Gambar 2.5. Lebar dan pergeseran yang menjadi karakteristik puncak tersebut dikarenakan pendeknya jarak antar *layer* yang saling menumpuk. Jarak antar lapisan dari rGO adalah $0,337 \text{ nm}$ ($3,37 \text{ \AA}$), sedikit lebih besar dari grafit yang dihasilkan dan beberapa kecil bagian yang mengandung oksigen atau cacat struktur lainnya (Nugraheni et al., 2015).



Gambar 2.5 Grafik XRD dari lapisan nano GO dan rGO(Choi et al., 2016) serta dari arang tempurung kelapa tua yang dipanaskan pada suhu 400°C selama 5 jam (Nugraheni et al., 2015)

Transformasi Fourier Infra merah (FTIR) merupakan salah satu alat spektroskopi yang menggunakan metode transformasi fourier untuk mengukur resapan spektrum inframerah yang dipancarkan dari sumber menuju material uji pada berbagai bilangan gelombang. Spektroskopi infra merah merupakan suatu teknik yang didasarkan pada getaran dari atom molekul. Spektrum diperoleh dengan melewati radiasi infra merah melalui sampel dan membaca sebagian radiasi yang diserap pada energi tertentu

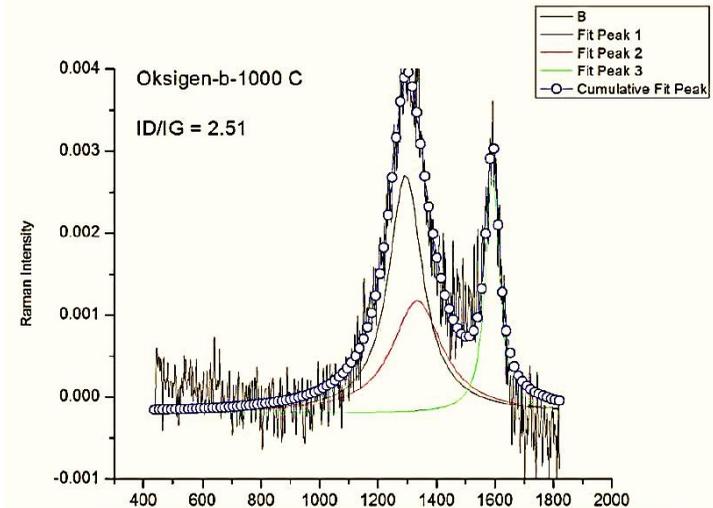
oleh molekul. Keluaran yang diperoleh dari spektroskopi FTIR yaitu berupa grafik pola puncak-puncak dari interaksi setiap molekul dalam material uji yang menyerap energi dari spektrum inframerah yang ditunjukkan dengan grafik hubungan prosentase transmisi (%T) terhadap bilangan gelombang (cm^{-1}). Masing-masing atom molekul yang saling berikatan memiliki nilai resapan energi spektrum inframerah masing-masing (Nugraheni et al., 2015). Gambar 2.6 merupakan representasi spektrum inframerah pada uji FTIR untuk matrial rGO tempurung kelapa tua.



Gambar 2.6 Spektrum FTIR Arang Tempurung Kelapa Tua dengan Pemanasan selama 5 jam pada suhu 400°C (Prasetya et al., 2015)

Gambar 2.6 merupakan hasil grafik FTIR dari arang tempurung kelapa tua pada suhu pemanasan 400°C yang menunjukkan masih banyaknya ikatan-ikatan yang terbentuk antara C=O, C-O, C=C dan O-H. Hal ini menunjukkan bahwa terindikasi adanya fasa *reduced graphene oxide* pada suhu rendah. Pada suhu rendah masih terdapat banyak ikatan hirdoksil (O-H),

ikatan karbonil (C=O) dan aromatik (C-H). Puncak-puncak yang mengindikasikan munculnya grafena oksida tereduksi antara lain adanya ikatan C=O pada bilangan gelombang 1726 cm^{-1} , ikatan C-O pada bilangan gelombang 1056 cm^{-1} , ikatan O-H pada bilangan gelombang 3400 cm^{-1} , serta ikatan C=C pada bilangan gelombang 1618 cm^{-1} (Prasetya et al., 2015). Selain itu hasil pengujian spektroskop Raman menunjukkan bahwa sampel memiliki puncak pada 1300 cm^{-1} dan 1590 cm^{-1} dengan rasio I_D/I_G 2,5 yang mengkonfirmasi bahwa hasil pembakaran tempurung kelapa tua menghasilkan fasa rGO. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, sebagai berikut.

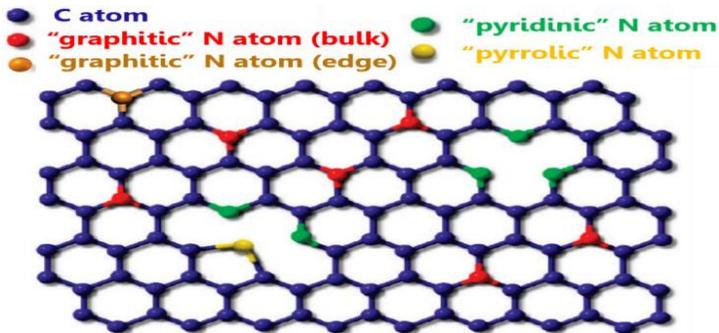


Gambar 2.7 Hasil *Fitting* Spektroskopi Raman dari Arang Tempurung Kelapa (Prasetya et al., 2015)

2.5 N-Doped Graphene

Doping merupakan metode yang paling tepat untuk digunakan sebagai pengontrol sifat semikonduktor dalam komunitas semikonduktor konvensional. *Graphene* yang didoping

artinya ada sebagian dari atom karbon pada suatu sel satuan yang digantikan oleh atom lain. Atom - atom pengotor diasumsikan akan mensubstitusi atom karbon, sehingga atom-atom pengotor harus memiliki jari-jari atom yang hampir sama dengan jari-jari atom karbon (Long et al., 2010). Berdasarkan sistem periodik unsur, karbon berada pada golongan IV A dan memiliki nomor atom 6, sehingga memiliki 6 proton. Nitrogen berasal dari golongan V A dan bernomor atom 7, sehingga memiliki 7 proton. Atom N adalah kandidat alami untuk doping pada graphene karena ukuran atomnya yang sama seperti atom C dan bisa menjadi donor elektron untuk substitusi N-doping (Safitri et al., 2017).



Gambar 2.8 Jenis Ikatan Antar Atom Karbon dengan Nitrogen pada N-*Graphene* (Safitri et al., 2017)

Atom nitrogen yang didoping ke dalam grafena akan membentuk tiga konfigurasi ikatan dalam kisi karbon, yaitu *quaternary* N (atau *graphitic* N), *pyridinic* N, dan *pyrrolic* N. Skema ikatan ditunjukkan oleh Gambar 2.8, secara khusus, ikatan pyridinic N dengan dua atom C di tepi atau cacat dari graphene dan menyumbangkan satu p elektron untuk sistem π . Pyrrolic N mengacu atom N yang berkontribusi dua elektron p ke sistem π , meskipun tidak perlu ikatan ke dalam cincin beranggota lima,

seperti di pyrrole. Kuarter N mengacu pada atom N yang pengganti atom C dalam cincin heksagonal. Di antara jenis nitrogen ini, pyridinic N dan kuarterner N merupakan hibridisasi sp^2 dan pyrrolic N merupakan hibridisasi sp^3 . Dari ketiga konfigurasi ikatan N ini, *pyridinic* N dan *pyrrolic* N berperan dalam keterbasahan (*wettability*) dan meningkatkan *pseudocapacitance*, sedangkan *graphitic* N berperan dalam meningkatkan konduktivitas listrik grafena (Yadav and Dixit, 2017).

Ada beberapa proses dalam sintesis *graphene* N-doping. Diantaranya dengan Metode *Arc discharge*, digunakan untuk membuat *N-doped graphene* dengan memberikan arus tinggi diantara elektroda grafit dan $H_2 + NH_3$. metode *chemical vapor deposition* (CVD) untuk menyintesis *N-doped graphene*, menggunakan film Cu tebal 25-nm pada substrat Si sebagai katalis dalam atmosfer H_2 (20% dalam Ar) dan $CH_4 + NH_3$ sebagai sumber C dan N. Pada pengujian X-ray spektroskopi fotoelektron (XPS) dapat diketahui bahwa sebagian besar atom C dalam *N-doped graphene* tersusun dalam kisi sarang lebah terkonjugasi. Meskipun *N-doped graphene* berhasil disintesis dengan metode CVD, mobilitasnya kurang dari $500 \text{ cm}^2/\text{V.s}$, yang lebih rendah dibandingkan dengan teknik *exfoliated graphene* sebesar $5000 \text{ cm}^2/\text{V.s}$, dan intrisik *graphene* sebesar $200.000 \text{ cm}^2/\text{V.s}$. Pengukuran temperatur pada aliran listrik menunjukkan tahanan dari *N-doped graphene* menurun lebih dari 80 kali lipat ketika suhu meningkat dari suhu cair nitrogen menjadi 300 K, hal ini menunjukkan properti semikonduktor dari *N-doped graphene* (Guo et al., 2011).

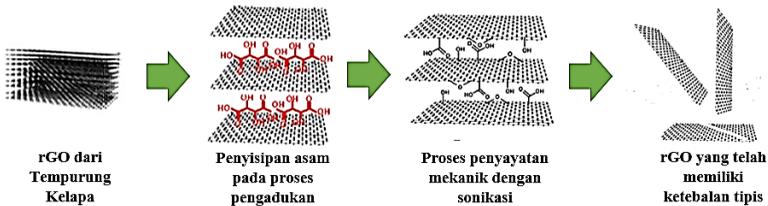
2.6 Penyayatan (*Exfoliation*)

Pada umumnya rGO akan diberikan perlakuan mekanik atau kimiawi agar didapatkan hasil rGO yang memiliki lapisan lebih tipis. Perlakuan mekanik dan kimiawi ini digunakan untuk menyayat ikatan *Van der waals* antar tumpukan dari rGO agar tersisa hanya beberapa lapis bahkan selapis. Metode paling sederhana yaitu dengan melakukan pemanasan suhu rendah dengan dibantu pengadukan selama 48 jam. Suhu yang digunakan berkisar antara 60° hingga 150° Celsius. Hal ini menghasilkan rGO dengan kapasitas hingga 160 F/g. rGO yang telah dipanasi kemudian dilakukan pencucian berulang kali (Hong and Chung, 2015).

Teknik penyayatan (*exfoliation*) lainnya ialah dengan menggunakan perlakuan mekanik menggunakan teknik ultrasonikasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. rGO dipanasi hingga suhu 95°C dengan pengadukan selama 3 jam. Kemudian sampel digetarkan menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 3 jam. Hal ini akan mengakibatkan ikatan *Van der waals* akan terlepas akibat gelombang ultrasonik yang digunakan. Teknik ini menghasilkan rGO dengan ketebalan yang cukup tipis hingga 10 nm menggunakan TEM (Akhtar et al., 2017). Beberapa teknik lain menggunakan penambahan perlakuan hidrotermal untuk melepaskan ikatan $\pi - \pi$ antar bidang rGO.

Teknik yang paling efektif dalam menyayat lapisan rGO ialah menggunakan bantuan material asam. rGO dicampurkan menggunakan asam kuat seperti HCl maupun H₂SO₄ agar asam kuat tersebut menyisip di antara lapisan rGO. Kemudian larutan diberi perlakuan panas pada suhu 750°C hingga terjadi pemuaihan jarak antar lapisan akibat gerak dari partikel asam. Sehingga ikatan *Van der waals* antar lapisan akan melemah dan mudah terlepas. Kemudian larutan diberi gelombang ultrasonik agar isoprenol yang

ada pada larutan dapat menyusup dan melepaskan ikatan *Van der waals*. Sehingga didapatkan rGO yang memiliki lapisan tipis dan nilai kapasitansi yang tinggi. Lapisan yang dihasilkan memiliki ketebalan hingga 0,53 nm. Teknik ini sesuai dengan visualisasi pada Gambar 2.9 (J. Barzola-Quiquia et al., 2011).

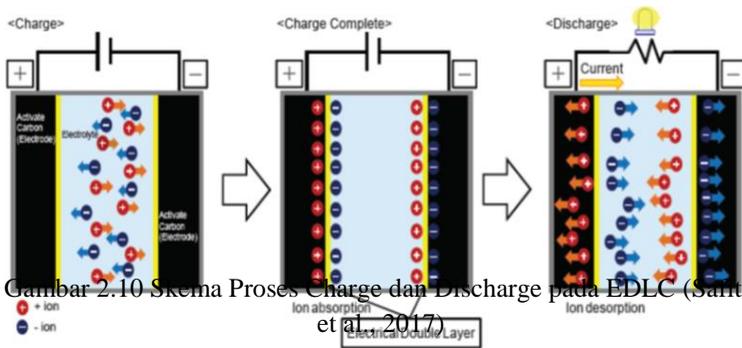


Gambar 2.9 *Exfoliation* (penyayatan) Menggunakan Asam dan Perlakuan Termal serta Sonikasi (J. Barzola-Quiquia et al., 2011)

2.7 Superkapasitor

Superkapasitor merupakan perangkat yang memiliki densitas energi tinggi, kemampuan pengisian yang cepat, serta memiliki daur hidup yang banyak. Berdasarkan mekanisme penyimpanan energi, superkapasitor dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu Kapasitor Elektrokimia Dwi lapis (*electrochemical double layer capacitor*, EDLC), *hybrid capacitor*, dan *pseudocapacitor* (Balaji et al., 2016). Pada superkapasitor jenis EDLC, muatan terserap secara elektrostatis pada permukaan elektroda yang bersentuhan dengan elektrolit dengan melibatkan reaksi non-faraday. Reaksi non faraday merupakan reaksi yang tidak melibatkan pertukaran muatan antara elektroda dengan elektrolit, namun memungkinkan untuk terjadinya adsorpsi maupun desorpsi muatan karena secara termodinamik maupun kinetik tidak menguntungkan, hal ini seperti ilustrasi pada Gambar 2.10. Pada

umumnya superkapasitor EDLC terbuat dari material karbon dan polimorfnya, sehingga memiliki luas permukaan spesifik yang besar, konduktivitas listrik yang baik, serta memiliki densitas daya yang besar (Wang et al., 2011). Sehingga dimungkinkan untuk penggunaan yang luas dalam industri.



Gambar 2.10 Skema Proses Charge dan Discharge pada EDLC (Santuri et al., 2017)

Kinerja EDLC sangat bergantung pada jenis material elektroda (karbon) dan larutan elektrolitnya. EDLC menggunakan elektroda berbahan karbon karena mempunyai luas permukaan spesifik yang tinggi kira-kira 10^3 hingga $2 \times 10^3 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Sedangkan larutan elektrolit berperan sebagai pemasok ion melalui proses disosiasi. Disosiasi sendiri merupakan peristiwa terurainya suatu zat menjadi beberapa zat yang lebih sederhana. Pada EDLC misalnya, sebuah larutan elektrolit AB terdisosiasi menjadi komponennya A^- dan B^+ . Hal tersebut dinamakan disosiasi elektrolit atau ionisasi dan reaksi ini juga merupakan reaksi reversibel atau berjalan bolak-balik karena ion-ion A^- dan B^+ juga bisa kembali membentuk elektrolit AB. Melalui proses seperti inilah ion-ion bermuatan listrik dapat dimanfaatkan pada sistem kerja EDLC. Karbon aktif digunakan sebagai elektroda, karena (1)

biaya rendah, (2) luas permukaan yang tinggi, (3) ketersediaan yang melimpah, dan (4) teknologi produksi mudah. Karbon aktif yang digunakan dalam bentuk padatan sedangkan larutan elektrolitnya dalam bentuk cair. Ketika bahan-bahan ini melakukan kontak antara satu dengan yang lainnya, maka kutub positif dan negatif didistribusikan relatif terhadap satu dan yang lainnya dengan jarak yang sangat dekat (Conway, 1999).

Sedangkan pseudokapasitor, yang terbuat dari material oksida/hidroksida logam maupun polimer konduksi memiliki nilai kapasitansi dan densitas energi yang lebih besar dibandingkan superkapasitor jenis EDLC karena adanya reaksi faraday yang bolak-balik yang terjadi di dalamnya. Namun performa dari pseudokapasitor bergantung pada aktivitas elektrokimia dan kinetika reaksi dari material elektroda yang digunakan. Sehingga dengan menggabungkan kedua jenis superkapasitor EDLC dan pseudokapasitor akan didapatkan sifat-sifat yang unggul dari kedua kapasitor, yaitu memiliki daur hidup yang banyak dan kapasitansi yang besar (Wang et al., 2012).

Beberapa penelitian sebelumnya, beberapa oksida logam transisi sebagai elektroda pada pseudokapasitor dapat memiliki nilai kapasitansi yang amat tinggi. Terdapat oksida logam yang lebih ramah lingkungan serta mudah ditemukan di alam, yaitu Fe_3O_4 . Selain itu, oksida ini memiliki kapasitansi pseudokapasitor yang tinggi hingga 551 F/g (Conway, 1999). Sehingga apabila dibuat komposit yang menggabungkan Fe_3O_4 dengan bahan karbon seperti grafena maupun rGO maka akan didapatkan superkapasitor yang merupakan perpaduan dari EDLC dan pseudokapasitor.

Elektroda superkapasitor yang berbasis campuran antara superkapasitor EDLC dengan pseudokapasitor telah terbukti menghasilkan nilai kapasitansi yang cukup tinggi. Pada elektroda rGO dengan penambahan NH_4OH sebagai *spacer* yang dilakukan

oleh Diah Ayu pada tahun 2017 menghasilkan kapasitansi spesifik hingga 208,47 F/g. Hal ini disebabkan partikel NH_4OH terdoping pada lapisan rGO (Safitri et al., 2017).

"halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan dalam proses sintesis antara lain adalah *magnetic stirrer*, gelas beker, *spatula*, *crucible*, saringan *mesh 200*, *furnace*, *aluminium foil*, *plastic wrap*, pipet, *ultrasonic cleaner*, *centrifuge*, dan *cuvette*.

3.1.2 Bahan

Dalam penelitian ini bahan yang digunakan dalam proses sintesis antara lain adalah tempurung kelapa, *Hydrochloric Acid* (HCl), aquades, *Ammonia* (NH₄OH), *Iron (III) Chloride Hexahydrate* (FeCl₃.6H₂O), Glukosa, *Pottasium Hydroxide* (KOH), dan Alkohol.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Tahap Pembuatan rGO

rGO dapat dibuat melalui serangkaian tahapan. Pertama, tempurung kelapa dibersihkan dari sisa - sisa kotoran serta serabut yang menempel hingga tersisa bagian tempurung keras saja. Setelah itu, tempurung kelapa dibakar diatas tungku pembakaran pada lingkungan terbuka hingga menjadi arang (berwarna hitam). Kemudian arang dihaluskan dengan lumpang alu dan disaring dengan ayakan berukuran mesh 200. Hasil ayakan ini kemudian dikarakterisasi awal untuk mengetahui fasa (XRD), komposisi (XRF, CHONS *Analyzer*) serta morfologinya (SEM-EDX). Kemudian serbuk di *furnace* dalam suhu 400°C selama 5 jam. Hal ini berguna untuk mengurangi kadar air dan oksigen dari serbuk.

Diagram alir pembuatan bahan dasar rGO berada pada Gambar 3.1.

3.2.2 Tahap Pembuatan Elektroda

Tahapan selanjutnya ialah exfoliasi secara mekanik dan kimiawi. Secara singkat proses pembuatan elektroda dapat dilihat pada Gambar 3.2. Serbuk dicampurkan dengan HCl 1M dengan perbandingan 1:1 kemudian diaduk selagi dicampurkan dengan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (SAP) dan NH_4OH hingga perbandingan antara HCl : rGO : NH_4OH : FeCl_3 : Glukosa = 2:2:1:1:0 yang diberi label R110. Kemudian larutan di exfoliasi secara mekanik menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 6 jam. Hasil yang didapatkan dikeringkan dengan metode *hot drying* menggunakan *hot plate* dengan skala suhu 5 hingga menjadi serbuk yang benar – benar kering. Serbuk kemudian dicetak menjadi *pellet* dengan diameter 13 mm dan berat 0.25 gram. *Pellet* kemudian dilapisi dengan pasta perak (Merck) hingga seluruh permukaan terlapisi. Selain elektroda komposit HCl/rGO/ NH_4OH / FeCl_3 /Glukosa juga digunakan sampel berupa elektroda kontrol berupa HCl/rGO/ NH_4OH / FeCl_3 /Glukosa sebagai sampel kontrol dengan perbandingan 2:2:0:1:0 label sampel R010. Variasi sampel yang dilakukan ialah dengan perbandingan HCl : rGO : NH_4OH : FeCl_3 : Glukosa sebesar 2:2:0:1:2, 2:2:2:1:0, 2:2:2:1:2, dan 2:2:4:1:2, dengan label sampel masing – masing R012, R210, R212, dan R412.

3.3 Karakterisasi Material

Karakterisasi Material yang dilakukan pada sampel meliputi :

- a. *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *CHONS Analyzer*

Pengujian XRF tipe *PANalytical* dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur – unsur yang terkandung dalam material. Pengujian CHONS *Analyzer* dengan menggunakan metode ASTM D 5373-2002 dan ASTM D 3177-2002. Dalam penelitian ini pengujian XRF dan CHONS *Analyzer* dilakukan pada sampel arang batok kelapa setelah dibakar dan disaring.

b. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Uji XRD dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui fasa yang terkandung dalam material. Dalam penelitian ini pengujian XRD dilakukan pada sampel serbuk rGO. Pengujian dilakukan pada rentang sudut 5° – 55° menggunakan *Philips X'Pert MPD (Multi Purpose Diffractometer)* dengan radiasi Cu-K α di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS Surabaya.

c. *Scanning Electron Microscopy (SEM-EDX)*

Pengujian *Scanning Electron Microscopy (SEM-EDX)* dilakukan untuk mengetahui mikrostruktur dan bentuk morfologi serta ukuran ketebalan dari material. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian SEM pada elektroda. Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Energi LPPM Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

d. *Particle Size Analyzer (PSA)*

Karakterisasi ukuran partikel sampel rGO dilakukan dengan pengujian *Particle Size Analyzer (PSA)* Zetasizer Nano yang dilakukan di Laboratorium Zat Padat Fisika FIA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. PSA ini menggunakan prinsip *Dynamic Light Scattering (DLS)* atau menggunakan waktu korelasi dari hamburan sinar terhadap partikel.

e. *Cyclic Voltametry (CV)*

Karakterisasi sifat kapasitansi dilakukan oleh uji *cyclic voltammetry*. Uji ini akan menunjukkan plot respon arus terhadap tegangan yang diberikan pada elektroda uji (*working*

electrode). Alat ini menggunakan prinsip 3 buah elektroda yang bekerja secara simultan yaitu elektroda referensi (*reference electrode*) untuk mengukur beda potensial, elektroda uji (*working electrode*), dan elektroda penghitung (*counter electrode*). Pengujian dilakukan di Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Parameter pengujian digunakan larutan KOH dengan konsentrasi sebesar 6M. Pengujian dilakukan pada *potensial window* dengan batas bawah sebesar -1 Volt dan batas atas sebesar 1 Volt serta menggunakan *scan rate* 50 mV/s. Nilai kapasitansi dihitung menggunakan persamaan :

$$C = \frac{1}{mv(V_2 - V_1)} \int_{V_1}^{V_2} I(V)dV \quad (3.1)$$

Sedangkan rapat energi dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.2.

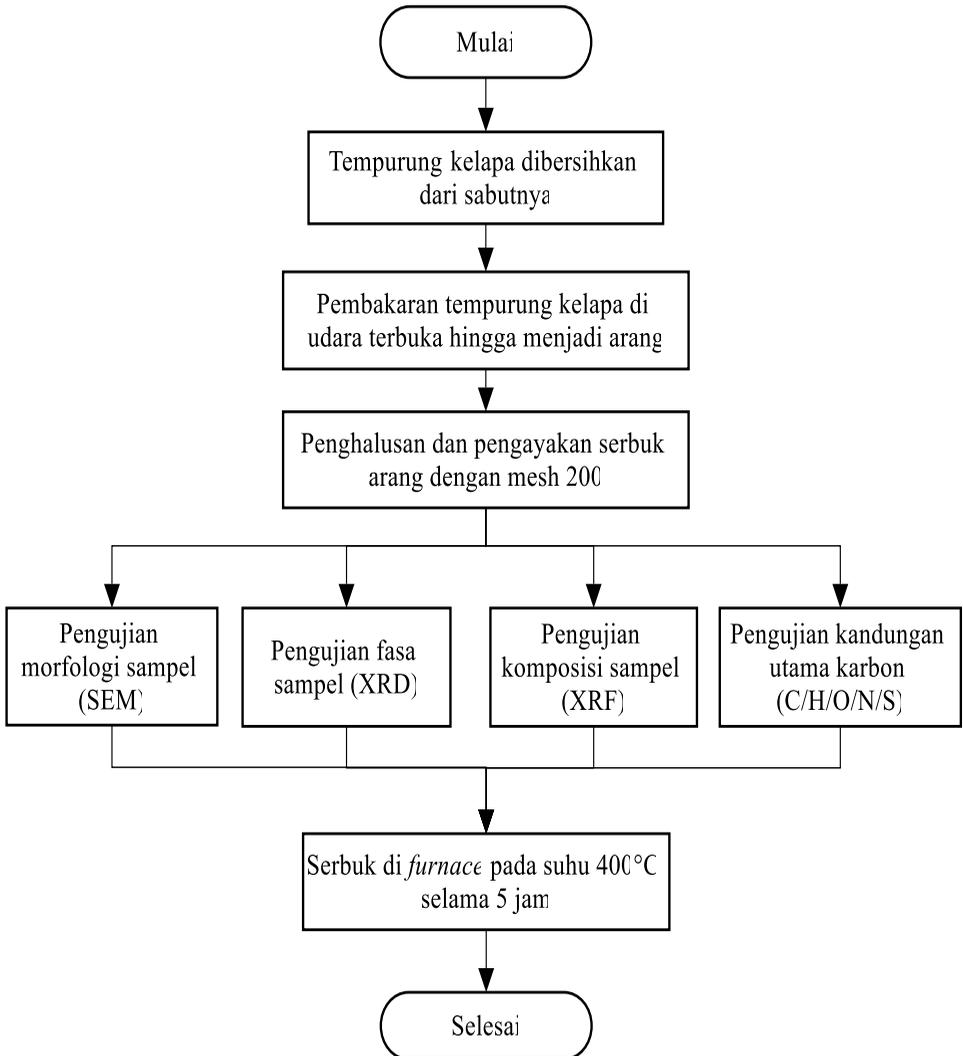
$$\text{Rapat Energi} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot (|V_2 - V_1|)^2 \quad (3.2)$$

dengan :

C = kapasitansi spesifik (F/g)	$I(V)$ = persamaan respon arus terhadap tegangan
m = massa elektroda (g)	V_2 = Potensial <i>window</i> atas (V)
v = <i>scan rate</i> (V/s)	V_1 = Potensial <i>window</i> bawah (V)

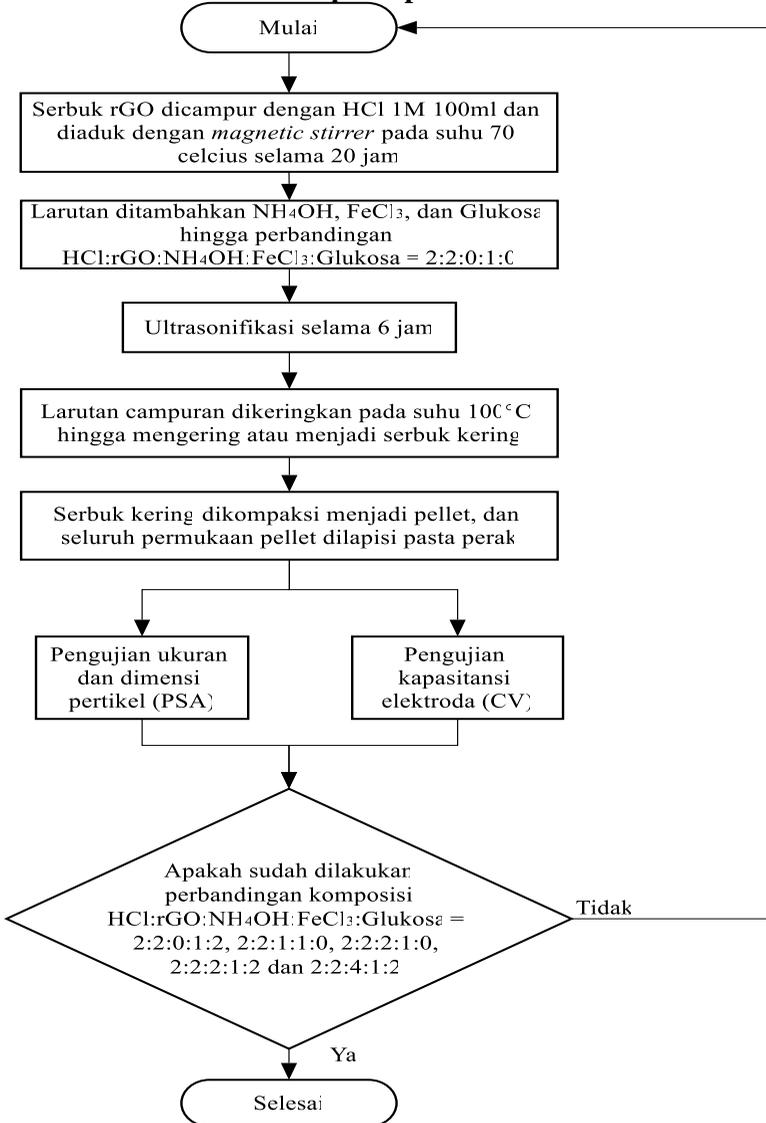
3.4 Diagram Alur Penelitian

3.4.1 Sintesis rGO Tempurung Kelapa



Gambar 3.1 Diagram Alur Produksi rGO Tempurung kelapa

3.4.2 Sintesis Elektroda Superkapasitor



Gambar 3.2 Diagram Alur Produksi Elektroda Superkapasitor

3.5 Waktu dan Pelaksanaan Tugas Akhir

Waktu pelaksanaan pengerjaan tugas akhir mulai awal semester 8 selama 5 bulan sejak Januari 2018 sampai dengan Mei 2018, sedangkan tempat pelaksanaannya adalah di laboratorium Zat Padat, laboratorium Keramik, serta laboratorium Karakterisasi Jurusan Fisika dan Perpustakaan Pusat ITS Surabaya. Untuk jadwal pelaksanaannya ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Jadwal Perencanaan Kerja

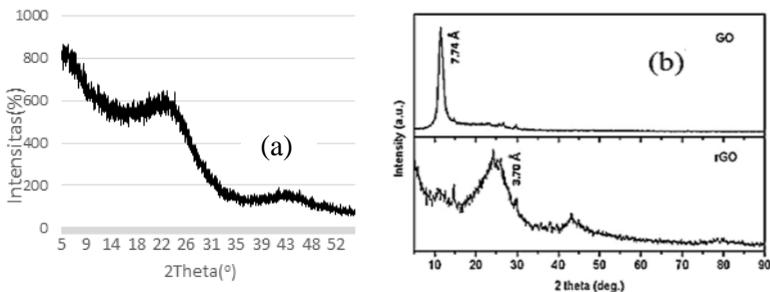
No.	Kegiatan	Bulan				
		1	2	3	4	5
1	Studi Literatur					
2	Penyusunan Proposal Tugas Akhir					
3	Konsultasi dengan Dosen Pembimbing					
4	Melakukan eksperimen					
5	Penyusunan Laporan Tugas Akhir					

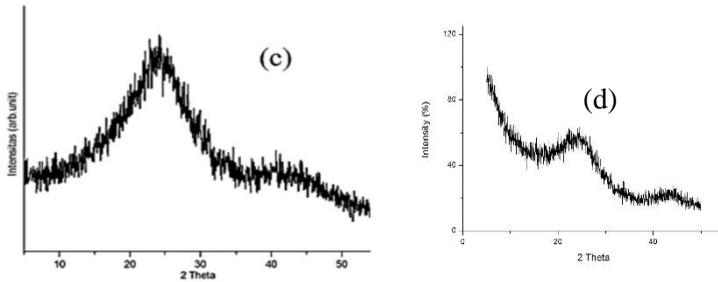
"halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Struktur rGO Bahan Dasar

Pada penelitian ini Grafena Oksida Tereduksi (*Reduced Graphene Oxide*, rGO) diperoleh dari hasil pembakaran tempurung kelapa tua. Hasil pembakaran ini berupa arang yang kemudian ditumbuk halus menjadi serbuk dan diayak menggunakan ayakan berukuran 200 mesh agar ukuran yang didapatkan secara umum homogen, kemudian dipanaskan dalam furnace dengan suhu 400°C selama 5 jam. Analisis struktur dan fasa dari serbuk arang tempurung kelapa tua ini menggunakan alat *X-ray Diffraction* (XRD). Kriteria pengujian material bahan dasar dengan XRD menggunakan sinar Cu-K α . Sinar Cu-K α dipilih karena nilai panjang gelombangnya yang rata – rata sesuai untuk banyak jenis material, dengan nilai 1.54 Å. Proses pengujian XRD menggunakan sudut 2θ dengan rentang nilai 5° hingga 55°. Pola yang dihasilkan dari bahan dasar serbuk arang ini memiliki banyak puncak kecil yang saling bertumpuk dan melebar, hal ini menunjukkan bahwa struktur yang dihasilkan sampel adalah *amorphus*. Selain itu, pada sudut 2θ di 24° dan 44° teramati puncak – puncak yang lebih menonjol serta lebar seperti yang ditunjukkan pada hasil penelitian Gambar 4.1 berikut.





Gambar 4.1 Pola Difraksi (a) serbuk rGO bahan dasar sintesis, (b) rGO penelitian Fu, (c) rGO penelitian Nugraheni, (d) rGO penelitian Gilang

Serbuk arang bahan dasar penelitian ini menghasilkan pola difraksi seperti yang ada pada Gambar 4.1 (a). Teridentifikasinya dua puncak melebar dari pola difraksi yang dihasilkan menyatakan bahwa fasa serbuk arang telah menjadi rGO. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fu pada tahun 2013 yang menunjukkan fasa rGO dari grafit dengan metode Hummer juga memiliki 2 puncak spesifik pada sudut difraksi 24° dan 44° seperti pada Gambar 4.1 (b). Selain itu pola difraksi yang ada juga sesuai dengan penelitian tentang rGO dari tempurung kelapa tua yang diteliti oleh Nugraheni pada tahun 2015 dan Gilang pada tahun 2017 seperti pada Gambar 4.1 (c) dan (d).

4.2 Analisis Komposisi rGO Bahan Dasar

Sampel bahan dasar berupa serbuk arang setelah diayak dengan ukuran 200 mesh perlu untuk diketahui komposisinya, sebelum diproses lebih lanjut ke dalam *furnace* dan disintesis. Analisis komposisi dilakukan dengan metode pengujian dua instrument yaitu XRF (*X-Ray Fluorescence*) dan CHONS Analyzer yang kemudian hasil keduanya dapat dibandingkan. Analisis fasa pengotor dari bahan dasar serbuk arang dapat menggunakan alat X-

Ray Fluorescence (XRF), dikarenakan XRF mampu mendeteksi keberadaan unsur Na (natrium) hingga U (uranium) dalam sampel. Pengujian XRF berdasarkan pada panjang gelombang serta jumlah sinar x yang dipancarkan kembali oleh sampel setelah ditembakkan sinar x berenergi tinggi. Tiap - tiap unsur dalam suatu material akan memancarkan panjang gelombang yang berbeda - beda. Hasil pengujian XRF menunjukkan bahwa terdapat 10 unsur pengotor yang ditemukan. Kekurangan pada uji XRF ini adalah ketidakmampuan untuk mendeteksi persentase unsur utama dari rGO yakni C, H, O, N dan S yang semuanya memiliki nomor atom yang lebih kecil bila dibandingkan dengan Na (Natrium), sehingga XRF hanya mampu memperoleh unsur – unsur pengotor sampel.

Bahan dasar serbuk arang kelapa tua yang digunakan termasuk jenis bahan organik, karena berasal dari tumbuhan. Bahan organik merupakan unsur yang mengandung C yang dihasilkan oleh makhluk hidup, unsur lainnya yaitu hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), unsur halogen, sulfur (S) dan fosfor (F) (Souza Dias et al., 2011). Arang tempurung kelapa tua merupakan produk yang didapatkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna pada tempurung kelapa. Pembakaran yang tidak sempurna atau yang dikenal sebagai peristiwa pirolisis ini mengakibatkan senyawa karbon kompleks yang ada tidak teroksidasi menjadi karbon dioksida. Ketika proses pirolisis terjadi, energi panas (kalor) mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul kompleks karbon terurai sebagian besar menjadi karbon atau arang. Pembentukan arang pada proses pirolisis ini terjadi pada suhu 150 - 300°C (Ekalinda, 2016).

Pengujian unsur – unsur tersebut dapat dilakukan yakni dengan alat CHONS *analyzer* untuk mengetahui persentase kandungan utama bahan dasar. Metode ASTM D5373 digunakan untuk mendeteksi kandungan C, H, dan N. Sedangkan metode

ASTM D3177 digunakan untuk mendeteksi kandungan S, pengujian kandungan P digunakan metode SNI 02-3776-2005 dan metode *balancing* digunakan untuk mendeteksi kandungan O. Berikut adalah persentase keseluruhan sampel bahan dasar serbuk arang yang diperoleh disajikan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Komposisi Sampel rGO dari Tempurung Kelapa Menurut Data Pengujian XRF dan CHONSAnalyzer

No.	Unsur Penyusun	Persentase(%)
1.	C	53,65
2.	O	34,0798
3.	H	6,2621
4.	K	5,0021
5.	N	0,09887
6.	Cu	0,3
7.	Fe	0,136
8.	S	0,01141
9.	Yb	0,0177
10.	P	0,195
11.	Zn	0,065
12.	Os	0,03
13.	Rb	0,071
14.	Re	0,06
15.	Ni	0,0224

Pada Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa persentase unsur pengotor terbanyak adalah kalium (K) pada bahan dasar. Kandungan kalium akan banyak ditemukan pada ekstraksi hasil pembakaran bahan organik yang memiliki banyak lignin, selulosa

dan hemiselulosa terutama tumbuhan (Valmari, 2000). Tempurung kelapa mengandung lignin, oleh karenanya hal tersebut umum apabila ditemukan pengotor kalium yang cukup tinggi ($\pm 5\%$). Kandungan sulfur dan fosforada dikarenakan material organik, namun dengan kadar yang rendah.

Hasil perbandingan seluruh persentase relatif XRF terhadap CHONS *analyzer* didapatkan seperti pada Tabel 4.1. Persentase unsur tertinggi dari sampel bahan dasar serbuk arang (rGO) adalah karbon (C) dan oksigen (O) yakni $\pm 53\%$ dan $\pm 34\%$. Bahan dasar inilah yang nantinya akan disintesis sebagai bahan dasar elektroda superkapasitor. Pada umumnya karbon pada material tambang maupun alam memiliki kadar oksigen hingga 20% (Wachid et al., 2014). Kadar oksigen yang masih lumayan tinggi ini dikarenakan material bahan dasar belum diproses lebih lanjut dengan cara *difurnace* pada suhu 400°C . Oleh karena itu, proses *heat treatment* di dalam *furnace* pada suhu 400°C dilakukan untuk menurunkan kadar oksigen pada bahan dasar, sehingga material yang diperoleh berupa rGO berkadar oksigen rendah (Nugraheni et al., 2015) atau dengan kata lain sesuai dengan definisi rGO yang memiliki kadar oksigen rendah dibanding unsur utama lainnya. Ketika *heat treatment* ini dilakukan pada bahan dasar selama 5 jam terjadi perubahan komposisi yakni meningkatnya kadar karbon hingga $\pm 81\%$, penurunan kadar oksigen menjadi $\pm 9\%$ dan komposisi hidrogen yang relatif sama pada komposisi bahan dasar (Anggara Putra, 2017).

Pengotor yang didapatkan lainnya bersifat magnetik dan elektrik seperti Besi (0,136%), Tembaga (0,3%), serta Nikel (0,0224%) memiliki kadar yang relatif rendah bila dibandingkan dengan material utama karbon. Maka dapat dikatakan sifat magnetik dan elektrik yang ditunjukkan oleh sampel pada

pengujian berikutnya adalah murni karena sifat dari bahan dasar rGO itu sendiri.

4.3 Analisis Ukuran Partikel Serbuk Elektroda

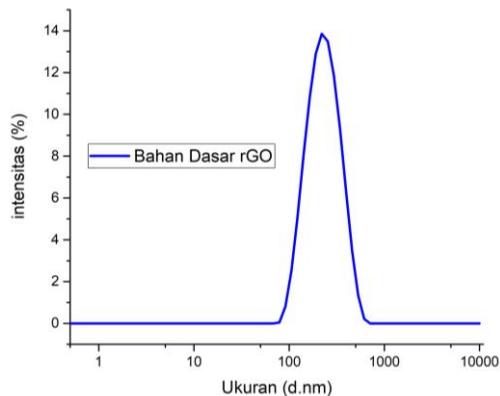
Serbuk arang rGO bahan dasar perlu diketahui ukuran partikelnya sebagai data awal pembandingan untuk sampel - sampel yang telah disintesis. Uji ukuran partikel dilakukan menggunakan alat PSA (*particle size analyzer*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa ukuran partikel dari bahan dasar masih cukup besar yakni 209 nm seperti pada Gambar4.2. Terlihat bahwa pada grafik hanya terdapat satu puncak persebaran ukuran partikel, artinya pada sampel bahan dasar arang rGO memiliki tingkat homogen ukuran yang tinggi. Ukuran yang dimiliki bahan dasar termasuk cukup besar dan tebal, oleh karena itu diperlukan perlakuan kimiawi dan mekanik untuk menyayat ukuran partikel agar lebih kecil. Perlakuan kimiawi menggunakan pencampuran bahan dengan asam kuat yakni HCl, sedangkan perlakuan mekanik dilakukan dengan cara ultrasonikasi.

Alat PSA (*Particle Size Analyzer*) menggunakan prinsip gerak *Brownian* partikel di dalam suatu cairan dengan prinsip hamburan cahaya dinamis atau *Dynamic Light Scattering* (DLS). DLS mendeteksi gerakan brown (gerakan terus menerus dari suatu partikel zat cair ataupun gas) partikel - partikel yang menghamburkan cahaya dari sinar laser yang menumbuknya. Sifat gerak Brown yang terus menerus ini akan menyebabkan hamburan pada tiap waktunya memiliki intensitas yang berbeda -beda dan berfluktuasi. Intensitas cahaya yang diterima sensor DLS akan bergantung pada ukuran partikel dan pergerakannya (kecepatan gerak brown). Partikel dengan ukuran yang kecil akan memiliki pergerakan yang relatif lebih cepat dibandingkan dengan partikel

yang lebih besar, akibatnya partikel kecil akan memiliki waktu korelasi yang lebih sedikit daripada partikel berukuran besar. Hasil pengujian PSA ini dapat dibentuk menjadi grafik intensitas hamburan cahaya laser yang diterima sensor terhadap ukuran partikelnya (waktu korelasi hamburan) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Serbuk arang rGO kemudian disintesis dengan beberapa variasi, diantaranya sampel R010 terhadap R012 digunakan untuk mengetahui pengaruh penambahan glukosa pada sampel. Sampel R110 terhadap R210 digunakan untuk mengetahui pengaruh penambahan doping NH_4OH pada sampel. Sampel R212 terhadap R412 digunakan untuk mengetahui pengaruh baik glukosa maupun doping NH_4OH .

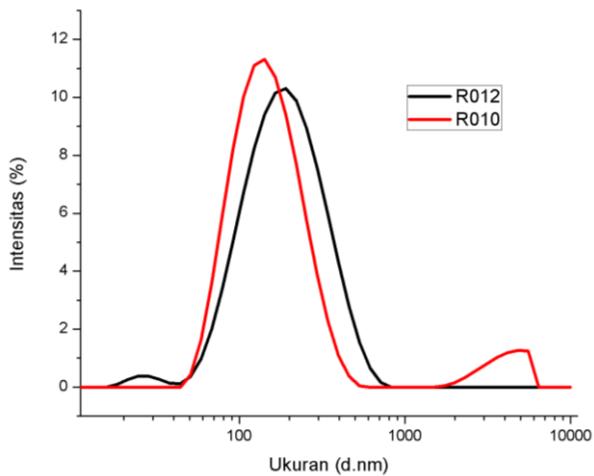
Perbandingan $\text{rGO}:\text{HCl}:\text{NH}_4\text{OH}:\text{FeCl}_3:\text{Glu}$ dan penamaan tiap variasi sampel adalah sebagai berikut. Sampel R010 dengan komposisi 2:2:0:1:0, R012 dengan komposisi 2:2:0:1:2, sampel R110 dengan komposisi 2:2:1:1:0, sampel R210 dengan komposisi 2:2:2:1:0, sampel R212 dengan komposisi 2:2:2:1:2, dan sampel R412 dengan komposisi 2:2:4:1:2.



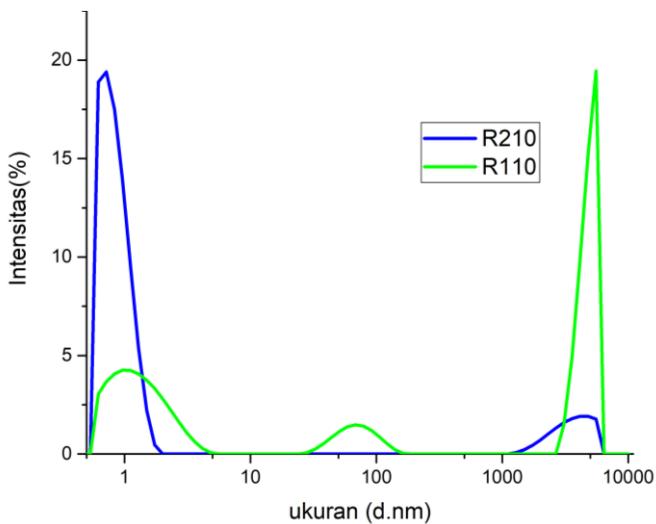
Gambar 4.2 Hasil Pengukuran PSA pada Bahan Dasar Serbuk Arang rGO Tanpa Perlakuan

Hasil pengujian PSA menunjukkan bahwa sampel bahan elektroda telah tereduksi ukurannya bila dibandingkan dengan bahan dasar serbuk arang rGO. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.3, 4.4, maupun 4.5 bila dibandingkan dengan Gambar 4.2. Beberapa variasi lainnya menunjukkan hasil sebaliknya, penambahan doping NH_4OH menunjukkan hasil grafik rata – rata persebaran ukuran partikel yang jauh lebih besar daripada bahan dasar serbuk rGO. R212 memiliki rata – rata ukuran partikel sebesar 867,5 nm, sedangkan R412 yang didoping NH_4OH dua kali lipatnya memiliki rata – rata ukuran partikel empat kali lipatnya yaitu 2805 nm. Namun pada puncak pertama sampel menunjukkan hasil persentase rendah untuk ukuran partikel ± 10 nm, ukuran inilah yang menjadi dasar bahwa terdapat partikel rGO yang tereduksi setelah disintesis. Hal ini sesuai dengan yang ditampilkan pada Gambar 4.5.

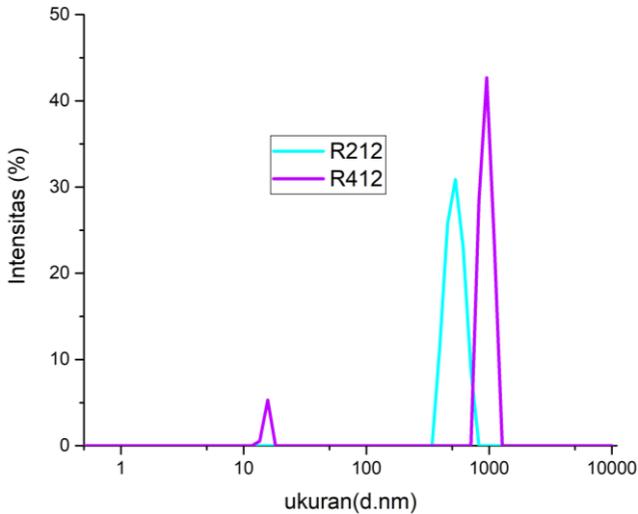
Variasi sampel lainnya memiliki puncak persebaran ukuran partikel sebanyak dua puncak pula, berbeda lagi dengan R110 pada Gambar 4.4 yang memiliki tiga puncak. Puncak pertama R110 memiliki intensitas yang cukup rendah ($\pm 5\%$) pada nilai ukuran partikel dibawah 10 nm, sebaliknya pada R210 memiliki intensitas yang cukup tinggi ($\pm 20\%$) pada nilai ukuran partikel dibawah 10 nm. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan doping nitrogen (N) dari NH_4OH mampu menaikkan intensitas (jumlah) partikel yang berukuran kecil dibawah 10 nm. Nilai rata – rata ukuran partikel R210 sebesar 7,073 nm, R110 sebesar 962,5 nm, R010 sebesar 118,5 nm, dan R012 sebesar 149,2 nm. Berikut merupakan perbandingan tiap – tiap puncak yang dihasilkan sampel pengujian PSA.



Gambar 4.3 Hasil Uji PSA Sampel Variasi Pengaruh Glukosa



Gambar 4.4 Hasil Uji PSA Sampel Variasi Pengaruh NH_4OH



Gambar 4.5 Hasil Uji PSA Sampel Variasi Pengaruh NH_4OH dan Glukosa

Secara umum, semua variasi sampel akan dicampur dengan larutan HCl 1M dan FeCl_3 . Dalam kimia organik, HCl dapat digunakan sebagai reagen untuk mensintesis senyawa - senyawa organik. Oleh karenanya HCl dapat pula digunakan untuk mensintesis karbon aktif. Selain itu HCl memiliki tekanan uap yang cukup tinggi, HCl konsentrasi 38% memiliki tekanan uap cukup besar yang berada pada kisaran 16 kPa pada suhu 20°C serta bersifat *volatile* (mudah menguap) (GREENWOOD and EARNSHAW, 1997).

Larutan HCl berfungsi untuk mereduksi ukuran partikel rGO dengan cara menyisip diantara lapisan rGO. Ketika rGO direaksikan dengan HCl, ion - ion Cl^- yang memiliki jari - jari sebesar 0,167 nm (Fawcett, 2005) akan putus ikatannya dengan atom hidrogen pada senyawa HCl, bila dibandingkan dengan jarak *interlayer* rGO sebesar 0,37 nm (Akhtar et al., 2017) maka ion Cl^-

akan dengan mudah menyisip diantara *interlayer* rGO yang memiliki ikatan *van der waals*. Cl^- melemahkan ikatan *van der waals* pada lapisan rGO dan berikatan dengannya membentuk ikatan $\text{C}-\text{Cl}$. Temperatur 70°C ketika pengadukan dengan *magnetic stirrer* memberikan tambahan energi pada ion – ion Cl^- untuk mempercepat ikatannya dengan atom C pada rGO, sedangkan ion Hidrogen akan mengikat Oksigen dan membentuk H_2O . H_2O ini akan menguap sebagian dalam bentuk gas selama proses *stirring*. Energi eksternal dari gas ini membantu ion Cl^- untuk memecahkan ikatan *van der waals* sehingga jarak antar lapisan (*interlayer*) pada rGO dapat diperbesar, sehingga ukuran partikel yang diperoleh lebih kecil.

Tahapan selanjutnya adalah ultrasonikasi dengan cara memberikan gelombang *ultrasonic* berdaya 600 watt. Gelombang ini akan memberikan perlakuan mekanik berupa getaran yang mampu memisahkan ikatan *van der waals* pada sampel setelah dilemahkan oleh larutan HCl . Tahapan ini disebut juga dengan proses exfoliasi mekanik. Hasilnya material rGO akan menjadi lebih kecil ukurannya, sesuai dengan hasil grafik PSA pada Gambar 4.3, 4.4, maupun 4.5 pada puncak pertamanya.

Penambahan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pada saat proses sintesis sampel bertujuan untuk memanfaatkan ion Fe^{3+} seperti pada oksida logam Fe_3O_4 pada pseudokapasitor, sehingga nantinya material rGO berbasis karbon yang merupakan kapisitor EDLC nilai kapasitansinya dapat diperbesar oleh ion Fe^{3+} sebagai pseudokapasitor pada sampel. Ukuran partikel yang telah diperkecil tentunya mempermudah partikel Fe untuk bereaksi dengan sampel.

Penambahan glukosa secara umum pengaruhnya terhadap ukuran partikel dapat dilihat pada Gambar 4.3. Sampel R010 yang tanpa diberi glukosa memiliki ukuran partikel yang secara umum

lebih kecil dari sampel dasar, namun puncak pertamanya berada di kisaran 100 nm, sedang puncak keduanya berada pada kisaran lebih dari 1000 nm. Sampel R012 yang telah diberi glukosa mampu membuat puncak pertama sampel berada pada kisaran ukuran 20 nm (lebih kecil daripada R010), sedangkan pada puncak keduanya bila dibandingkan R010 memiliki ukuran yang sedikit lebih besar. Tujuan penambahan glukosa sendiri adalah sebagai material *spacer* pada *interlayer* rGO yang mampu memperluas permukaan kapasitor EDLC sehingga ukuran partikel menjadi lebih kecil. Glukosa juga menjadi penyebab ukuran partikel menjadi lebih besar akibat *re-stacking* atau penumpukan kembali ketika pengeringan pada proses sintesis dilakukan. Suhu yang cukup tinggi pada proses pengeringan sampel dapat menyebabkan glukosa pada *interlayer* yang semula tersebar rata pada sampel akan terkonsentrasi naik ke permukaan sampel, akibatnya sampel yang posisinya berada dibawah akan kembali merekat (menumpuk) karena glukosa yang ada sebagai *spacer* telah hilang.

Penambahan NH_4OH pada penelitian yang dilakukan Safitri pada tahun 2017 menyatakan bahwa doping-N pada *graphene* dapat menyebabkan pergeseran grafik XRD (telah terdoping) serta mengalami penurunan ukuran kristal pada sampel. Ukuran kristal awal tanpa doping-N sebesar 404 nm, sedangkan dengan penambahan nitrogen dari NH_4OH sebesar 7.75% menghasilkan ukuran kristal 203 nm (Safitri et al., 2017). Penurunan ukuran kristal pada doping-N dapat disebabkan karena adanya *defect* pada *graphene*, sedangkan hasil XRD menyatakan grafik tetap dengan sedikit pergeseran puncak, hal ini mengindikasikan bahwa doping-N tidak merubah struktur kristal *graphene* melainkan hanya memperkecil ukuran kristal (*crystal size*) (Geng et al., 2011). Gambar 4.4 merupakan hasil dari pengaruh penambahan NH_4OH pada sampel. R110 bila

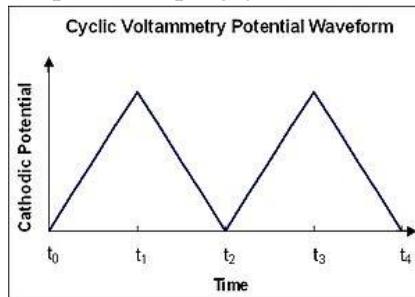
dibandingkan dengan tanpa NH_4OH (R010 dan R012) memilikipuncak pertama yang jauh lebih kecil yakni pada kisaran 1 nm saja. R210 menunjukkan bahwa intensitas partikel pada kisaran 1 nm dapat ditingkatkan dari kisaran 4% menjadi 18%, sehingga penambahan NH_4OH dapat dikatakan lebih efektif untuk mengecilkan ukuran sampel daripada penambahan glukosa. Pengaruh penambahan substansi pada sampel diketahui mampu membuat ukuran partikel secara umum menjadi lebih kecil, oleh karenanya diharapkan nilai kapasitansi sampel elektroda dapat meningkat.

4.4 Analisis Kapasitansi Spesifik Elektroda

Sampel yang telah selesai disintesis kemudian dikeringkan pada *hot plate*, setelah kering sampel kemudian ditumbuk pada lumpang alu untuk dihaluskan. Sampel yang telah halus kemudian dimasukkan pada cetakan untuk kemudian dikompaksi menjadi *pellet*. *Pellet* elektroda yang telah jadi kemudian diberi lapisan pasta perak (*silver paste*). *Silver paste* berguna untuk memperbesar konduktifitas sampel sehingga persebaran arus ketika pengujian CV (*Cyclic Voltametry*) dapat merata ke seluruh permukaan *pellet* elektroda. Pengujian CV pada dasarnya memiliki prinsip untuk melihat hubungan antara potensial yang diberikan terhadap arus yang terukur oleh alat. Sistem alat CV melibatkan reaksi redoks pada anoda dan katoda yang nantinya akan timbul terukur arus pada keduanya. Pengukuran arus listrik dilakukan dengan rentang potensial awal dan akhir yang sama (Mabbott, 1983).

Pengujian CV menggunakan alat berupa 3 buah elektroda. Elektroda pertama sebagai elektroda referensi (*reference electrode*), kemudian elektroda kedua sebagai elektroda penghitung (*counting electrode*). Kedua elektroda ini terbuat dari

bahan yang sama yakni Ag (perak). Elektroda ketiga sebagai elektroda uji (*working electrode*) yang ditempatkan sampel elektroda superkapasitor. Pengujian CV ini digunakan larutan KOH dengan konsentrasi 6 M sebagai larutan elektrolitnya. Larutan elektrolit akan menjadi ion – ion yang akan menjadi media merambatnya arus listrik pada sistem pengujian CV. Sampel sebagai elektroda uji diberikan tegangan yang berubah – ubah menurut fungsi gelombang (*wave function*) berupa grafik pada Gambar 4.6. Potensial diaplikasikan antara elektroda uji dan referensi, sedangkan arus diaplikasikan dan diukur antara elektroda uji dan penghitung. Hasil pengujian berupa grafik CV (*CV trace*) hubungan antara potensial dengan arus. *Scan rate* yang digunakan pada saat pengujian adalah 50 mV/s. Angka ini dipilih agar resistansi pada sampel ketika pengujian tidak terlalu besar.



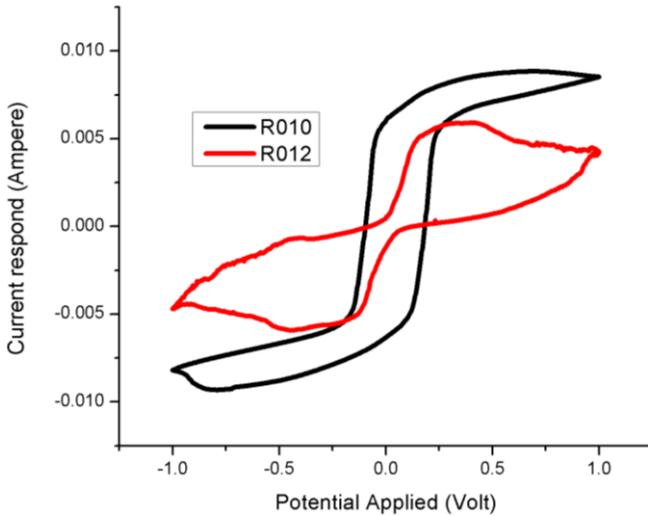
Gambar 4.6 Bentuk Gelombang Potensial Keluaran saat Pengujian CV

Hasil pengukuran CV kemudian dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.1. Grafik kemudian diplot menggunakan *microsoft excel* untuk mendapatkan fungsi garis dari grafik yang kemudian fungsi ini digunakan untuk mendapatkan luasan area dengan aplikasi Matlab. Luasan ini menurut Persamaan 3.1, semakin besar lingkupan area pada grafik akan menghasilkan nilai kapasitansi yang semakin besar pula.

Setiap pengujian CV pada variasi sampel menggunakan *scan rate* dan massa yang konstan (tetap) sebagai variabel kontrol. Hasil kapasitansi kemudian dapat digunakan untuk mencari nilai rapat energi (densitas energi).

Penelitian yang dilakukan oleh Safitri pada tahun 2017 mendapatkan hasil bahwa nilai kapasitansi spesifik dari pada graphene berbahan dasar grafit akan semakin mengecil apabila nilai *scan rate* ketika pengujian diperbesar. *Scan rate* secara langsung mempengaruhi laju aliran ion – ion dalam elektrolit (dalam hal ini KOH 6 M) menuju elektroda uji (rGO)(Safitri et al., 2017). *Scan rate* yang tinggi menunjukkan bahwa laju aliran dari tegangan menjadi cepat, akibatnya waktu yang dibutuhkan oleh ion – ion elektrolit menjadi lebih singkat untuk berdifusi ke dalam elektroda rGO, sehingga pembentukan *double layer* pada elektroda rGO menjadi sedikit. Hal ini berlaku sebaliknya apabila *scan rate* yang dipilih ketika pengujian kecil (50mV/s), yakni waktu difusi ion – ion elektrolit akan lebih lama sehingga pembentukan *double layer* pada elektroda rGO diharapkan telah maksimal (Conway, 1999).

Pada Gambar 4.7 terlihat bahwa pada sampel dengan variasi penambahan glukosa secara kualitatif terdapat perbedaan luasan serta bentuk grafik yang dihasilkan. Sampel tanpa glukosa (R010) memiliki grafik yang memanjang serta tidak membentuk tonjolan seperti pada R012. Hal ini berarti R010 tidak mengalami reaksi redoks sebaik pada R012 ketika pengujian CV berlangsung. R012 secara kasat mata memiliki tonjolan yang membuat sampel ini memiliki luasan yang lebih besar daripada R010.



Gambar 4.7 Uji Cyclic Voltammetry Pengaruh Penambahan Glukosa pada Sampel

Hasil uji PSA yang menunjukkan bahwa partikel R012 pada puncak pertamanya memiliki ukuran partikel yang jauh lebih kecil dari ukuran puncak pertama sampel R010, yakni 20 nm dibanding dengan 100 nm. Ukuran partikel ini sesuai dengan pernyataan teori kapasitansi yakni semakin kecil ukuran partikelnya (nilai d pada rumus dasar kapasitansi) maka nilai kapasitansi yang dihasilkan akan semakin besar. Hasil menunjukkan bahwa kapasitansi spesifik yang diperoleh R010 sebesar 20,67 F/g sedangkan R012 naik menjadi 23,67 F/g.

Elektroda berbahan dasar karbon seperti rGO ini pada umumnya tidak terjadi reaksi faraday seperti pada kuadran I dan III grafik pada Gambar 4.7 (Zhao and Zheng, 2015). Luasan grafik yang ada pada kuadran II dan IV mengindikasikan terjadi reaksi faraday yang berasal dari Fe^{3+} yang merupakan ion pada oksida

besi (Fe_3O_4) yang berasal dari penambahan FeCl_3 pada reaksi sampel. Luasan pada kuadran II dan IV pada umumnya memiliki perbandingan luasan yang sama besar. Penelitian yang dilakukan oleh Sharma pada tahun 2010 menyatakan bahwa kuadran I dan III merupakan reaksi non faraday sedangkan kuadran II dan IV mengindikasikan terjadinya reaksi faraday sesuai dengan hasil grafik yang diperoleh (Sharma and Bhatti, 2010). Hasil seluruh perhitungan kapasitansi spesifik tiap variasi ditunjukkan pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

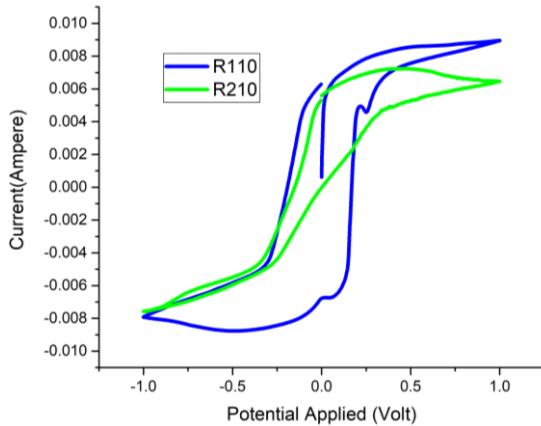
Tabel 4.2 Hasil perhitungan kapasitansi spesifik elektroda superkapasitor

Nama Sampel	Perbandingan rGO:HCl:NH ₄ OH:Fe:Glukosa	Kapasitansi Spesifik (F/g)	Rapat Energi (J/g)
Pengaruh Penambahan Glukosa			
R010	2:2:0:1:0	20,67	41,34
R012	2:2:0:1:2	23,67	47,34
Pengaruh Penambahan NH ₄ OH			
R110	2:2:1:1:0	24,46	48,92
R210	2:2:2:1:0	13,24	26,48
Pengaruh Penambahan NH ₄ OH dan Glukosa			
R212	2:2:2:1:2	37,33	74,66
R412	2:2:4:1:2	28,67	57,34

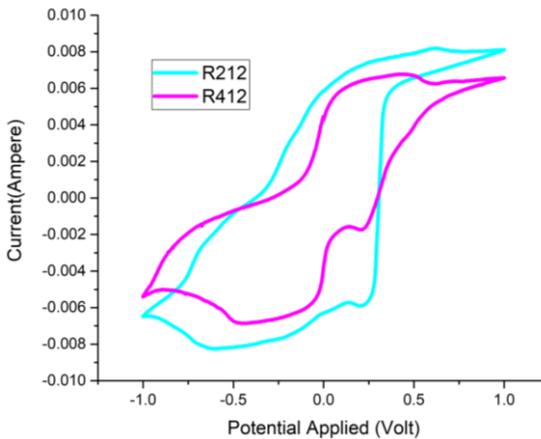
Pada Tabel 4.2 terlihat bahwa komposisi perbandingan dari rGO:HCl:Fe dijadikan variabel kontrol atau konstan dengan perbandingan 2:2:1. Penambahan oksida logam (Fe^{3+}) yang berlebih dapat menurunkan nilai kapasitansi spesifik elektroda. Hal ini berlaku sebaliknya ketika massa oksida besi dikurangi, maka nilai kapasitansi spesifik meningkat. Jumlah oksida besi yang ditambahkan dapat mempengaruhi kestabilan elektroda.

Perbandingan massa oksida besi dibanding dengan material lainnya paling efektif adalah setengahnya atau 1:2 (Anggara Putra, 2017). Perbandingan HCl dengan rGO yang paling efektif didapatkan pada 1:1, sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Nugraheni pada tahun 2015. Nilai kapasitansi elektroda akan menurun apabila konsentrasi HCl ditingkatkan pada saat proses exfoliasi kimiawi. Hal ini diperkirakan terjadi akibat kurang efektifnya asam (HCl) ketika menyisip pada interlayer rGO serta terjadi aglomerasi (penggumpalan) asam di luar lapisan rGO. Asam yang terlalu banyak dapat merusak lapisan rGO dengan cara memperkecil ukurannya namun tidak membentuk lapisan tipis (*thin sheets*) seperti yang diharapkan (Nugraheni et al., 2015).

Pada penelitian ini diberikan variasi penambahan doping N pada NH_4OH serta glukosa. Gambar 4.8 menunjukkan pengaruh penambahan konsentrasi massa NH_4OH ketika sintesis dari perbandingan R110 menjadi R210. Penambahan nitrogen yang berlebih menunjukkan hasil nilai kapasitansi spesifik yang menurun. Hal ini berlaku sama pada Gambar 4.9 yang menunjukkan penurunan luasan area grafik ketika doping nitrogen pada sampel diperbesar dua kali lipatnya, namun penambahan glukosa berperan terhadap naiknya nilai kapasitansinya. Sampel R110 dan R210 nilai kapasitansinya jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan R212 dan R412 yang diberi tambahan glukosa ketika sintesis. Hasil PSA menunjukkan ukuran rata – rata partikel R212 lebih kecil bila dibandingkan dengan ukuran rata – rata R412, hal ini menunjukkan bahwa luas permukaan R212 lebih besar dan sesuai apabila sampel ini memiliki kapasitansi lebih tinggi. Ukuran rata – rata R212 sebesar 867,5 nm sedangkan ukuran rata – rata partikel R412 sebesar 2805 nm, sehingga dapat diasumsikan luasan sampel R412 ketika diuji cenderung lebih kecil dibandingkan dengan R212.



Gambar 4.8 Uji Cyclic Voltammety Pengaruh Penambahan NH_4OH pada Sampel



Gambar 4.9 Uji Cyclic Voltammety Pengaruh Penambahan NH_4OH dan Glukosa pada Sampel

Penelitian ini menggunakan doping nitrogen dari larutan NH_4OH dikarenakan larutan akan lebih mudah untuk membentuk gugus ikatan – ikatan C-N maupun C=N dibandingkan dengan sumber nitrogen dari bentuk zat lain selain larutan seperti yang dilakukan oleh Ardiani pada tahun 2018 yang menggunakan sumber nitrogen dari gas nitrogen (N_2). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Ardiani pada tahun 2018, sampel elektroda dengan bahan dasar yang sama dan dengan perbandingan massa yang sama dengan sampel R212 memiliki besar kapasitansi spesifik lebih kecil yaitu 18 F/g. Sumber nitrogen dari gas N_2 yang memiliki ikatan rangkap 3 antar atom N ternyata sulit untuk lepas dan berikatan dengan rGO ketika proses sintesis. Gas N_2 merupakan gas yang sulit bereaksi (*inert*), akibatnya ikatan rangkap tiga antar atom N tidak mampu menyisip dan bereaksi membentuk ikatan C-N maupun C=N pada rGO. Metode yang dilakukan yakni dengan metode *bubbling* yakni dengan mengalirkan gas N_2 pada gelas ukur ketika proses sintesis rGO berlangsung. Hasil yang diperoleh menunjukkan metode ini kurang cocok untuk digunakan sebagai metode untuk mereaksikan gas N_2 , karena gas yang sulit bereaksi ini hanya akan menguap keudara kembali dan merusak sisipan glukosa pada rGO, sehingga terjadi aglomerasi pada sampel yang menyebabkan turunnya nilai kapasitansi spesifik secara signifikan.

Graphene dengan doping nitrogen akan memiliki kapasitansi spesifik yang lebih besar (Guo et al., 2011). Nitrogen mampu meningkatkan kapasitansi karena mampu meningkatkan *wettability* pada mikro porous graphene, dalam hal ini elektroda rGO. Penambahan NH_4OH yang dilakukan Safitri, 2017 dengan bahan dasar batu grafit menunjukkan bahwa terdapat gugus fungsi C=C, C-N, C=N, dan C=O. Ikatan N ini dapat terjadi akibat dari jari – jari atom yang tidak jauh berbeda antara N dengan C, sehingga dapat terjadi proses doping nitrogen pada sampel (Safitri

et al., 2017). Penelitian yang dilakukan oleh Jeong pada tahun 2011 menyatakan bahwa doping nitrogen pada graphene mampu meningkatkan energi ikat (*binding energy*) yang menyebabkan tingginya pergerakan ion pada luas permukaan elektroda uji sehingga nilai kapasitansinya akan meningkat (Jeong et al., 2011). Persentase keberhasilan doping nitrogen perlu dipertimbangkan juga, karena pendopongan yang berlebih (*over doped*) nitrogen pada rGO dapat menurunkan nilai kapasitansi spesifiknya akibat menurunnya konduktifitas listrik elektroda uji (Safitri et al., 2017). Penambahan doping nitrogen dinilai mampu meningkatkan kapasitansi spesifik elektroda uji *graphene* serta meningkatkan konduktifitas listriknya, sehingga mobilitas elektron dapat dipercepat pada permukaan elektroda uji, namun ketika keragaman atomnya (heteroatom) dalam jumlah besar akibat *over-doped* maka jumlah atom nitrogen ini dapat mengurangi efisiensi transpor (laju) elektronnya yang mengakibatkan nilai konduktifitas listrik menurun (Zhang and Yang, 2009). Penelitian lain yang dilakukan Wu pada tahun 2015 juga menunjukkan hasil yang sama, yakni penambahan atom nitrogen yang terlalu banyak dapat membuka band gap yang berakibat pada menurunnya sifat listriknya (konduktifitas) (Wu et al., 2015).

Pada penelitian ini secara kualitatif dapat dilihat pada Gambar 4.8 serta 4.9 mengalami pengecilan luas permukaan grafik tegangan terhadap arus keluaran pada uji CV. Perbandingan komposisi persatu-an dari NH_4OH mewakili ± 11 ml dengan konsentrasi 6,5 M, artinya R110 diberi tambahan 11 ml NH_4OH sedangkan R210 diberi tambahan 22 ml NH_4OH dan seterusnya untuk R212 dan R412. Penelitian Safitri mendapatkan persentase terdopingnya atom N pada *graphene* setelah pengujian XRD pada material *graphene* yang telah disintesis. Hasil kapasitansi yang diperoleh tentunya berkaitan dengan seberapa besar atom N

sesungguhnya yang telah terdoping sempurna pada elektroda superkapasitor rGO ini. Pengujian XRD, XRF maupun SEM tentunya berperan penting untuk mengetahui kondisi sampel setelah disintesis. Gambar 4.8 dan 4.9 secara umum telah mewakili teori yang ada bahwa penambahan atom N dari NH_4OH mampu meningkatkan kapasitansi spesifik rGO, namun apabila komposisi NH_4OH ini dinaikkan maka akan beresiko untuk mengalami *over-doped* material yang nantinya tidak mampu menaikkan kapasitansi secara optimum atau bisa jadi menurunkan kapasitansi semula. Penelitian ini secara umum telah memperoleh hasil yang sesuai dengan pola serta teori yang berlaku pada penelitian lainnya. Hasil kapasitansi tertinggi yang diperoleh R212 sebesar 37,33 F/g ini tentu masih jauh dari penelitian lain yang menggunakan doping N serupa. Hal ini dikarenakan penelitian lain menggunakan bahan dasar material *graphene* dari batuan grafit yang tidak ramah lingkungan. Penelitian ini menggunakan bahan baku tempurung kelapa tua yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Pengembangan metode untuk penelitian selanjutnya tentu sangat diharapkan guna menaikkan efisiensi doping N pada rGO dari tempurung kelapa tua ini, sehingga penelitian ini menghasilkan kualitas elektroda yang sebanding serta dapat diimplementasikan pada alat elektronik. Pengembangan metode dapat difokuskan pada proses penipisan material agar lebih merata (homogen) serta pengujian material setelah disintesis agar diperoleh korelasi antara perlakuan di lapangan terhadap hasil mikroskopik sampel secara lebih mendetail.

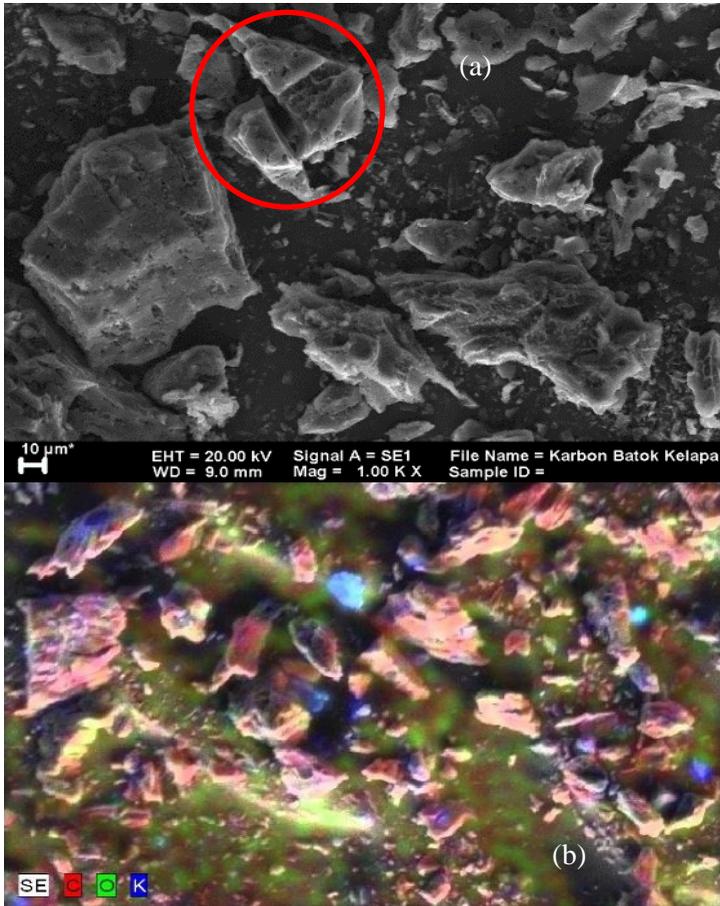
Pada kurva yang ditunjukkan pada semua gambar uji CV terjadi beberapa gundukan (*hump*) yang merupakan indikasi terjadinya proses reaksi kimia reduksi dan oksidasi antara permukaan elektroda dengan elektrolit KOH atau yang disebut dengan efek *pseudocapacitance*. Superkapasitor berbasis pada

penelitian ini bekerja dengan dua mekanisme, yaitu mekanisme ELDC dan mekanisme pseudocapacitor akibat adanya reaksi redoks.

4.5 Analisis Morfologi Elektroda

Analisis morfologi pada elektroda rGO hanya dilakukan pada bahan dasar sebelum disintesis dengan beberapa variasi yang telah disebutkan sebelumnya. Pengujian yang dilakukan agar mengetahui morfologinya adalah dengan alat SEM-EDX (Scanning Electron Microscopy- Energy Dispersive X-Ray). SEM sendiri merupakan penembakan elektron pada permukaan sampel dengan energi (potensial) yang cukup besar sehingga hamburannya dapat terdeteksi oleh sensor dan terpetakan secara morfologi bentuk dari pada sampel dalam skala mikro. Penggunaan EDX bertujuan untuk mengetahui unsur yang terkandung pada sampel. Perbesaran yang digunakan pada penelitian ini adalah 1000x, dengan hasil yang ditunjukkan oleh Gambar 4.10. Hasil SEM menunjukkan morfologi sampel yang masih berupa bongkahan (*flakes*) sehingga perlu dilakukan proses penyayatan lebih lanjut baik kimiawi maupun mekanik, sedangkan partikel kecil yang tersebar lainnya telah memiliki bentuk berupa lembaran (*sheet*) yang menjadi ciri khas dari rGO.

Gambar 4.10 (a) menunjukkan bahwa bahan dasar rGO memiliki morfologi ukuran partikel yang tidak merata. Hal ini ditandai dengan adanya ukuran besar, sedang, serta kecil yang tidak merata. Gambar 4.10 (b) menunjukkan hasil EDX dengan komposisi unsur C, O, dan K masing – masing sebesar 78,42%, 20,81%, dan 0,77%.



Gambar 4.10 Morfologi Bahan Dasar rGO dengan (a) SEM perbesaran 1000x, (b) EDX

Persentase ini diperoleh pada bagian tertentu dari permukaan sampel, dalam hal ini diambil dari seluruh bagian SEM dengan perbesaran 500x. Hasil komposisi yang diperoleh tidak menunjukkan hasil yang berbeda jauh dengan hasil uji XRF-CHONS, maka persebaran komposisi bahan dasar rGO dapat

dikatakan memiliki tingkat homogen yang bagus. Warna merah mewakili unsur C, warna hijau unsur O dan warna biru unsur K. Persebaran warna merah terlihat paling mendominasi sedang warna biru hanya terjadi di beberapa titik tertentu, serta warna hijau yang merata.

"halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan dari bahan dasar rGO dan rGO dengan doping nitrogen dari NH_4OH , maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Bahan dasar serbuk arang tempurung kelapa tua menghasilkan fasa rGO, morfologi berupa flake, ukuran partikel 209 nm, serta kandungan karbon mencapai 53,65%, kemudian proses exfoliasi kimia dan mekanik dapat menurunkan ketebalan rGO dan meningkatkan nilai kapasitansi spesifik pada superkapasitor.
2. Penambahan NH_4OH dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik superkapasitor selama tidak terjadi *over-doped* nitrogen pada rGO sebesar 24,46 F/g.
3. Doping nitrogen pada rGO akan lebih efisien dan memiliki kapasitansi lebih baik apabila ditambahkan glukosa sebesar komposisi rGO, dengan besar kapasitansi spesifik 37,33 F/g dan rapat energi 74,66 J/g.

5.2 Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yang terkait dengan doping nitrogen pada *graphene* adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan *pellet* dapat diganti dengan penggunaan *nickle foam* sebagai media pengujian CV, agar massa rGO/*graphene* yang teruji dapat diminimalkan dan mendapatkan nilai kapasitansi spesifik yang maksimal.
2. Pengujian SEM-EDX, XRD, serta FTIR pada material setelah sintesis perlu dilakukan, hal ini untuk mengetahui morfologi

sampel yang terbentuk setelah sintesis, tingkat homogen persebaran komposisi pada sampel, tingkat persentase atom nitrogen yang berhasil terdoping pada sampel, serta gugus – gugus ikatan yang terjadi pada sampel yang semuanya dapat dikaitkan dengan perubahan nilai kapasitansi spesifik yang akan diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhtar, M.A., Hayat, A., Iqbal, N., Marty, J.L., Nawaz, M.H., 2017. Functionalized graphene oxide–polypyrrole–chitosan (fGO–PPy–CS) modified screen-printed electrodes for non-enzymatic hydrogen peroxide detection. *J. Nanoparticle Res.* 19. <https://doi.org/10.1007/s11051-017-4029-x>
- Anggara Putra, 2017. SINTESIS ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DENGAN PROSES EKSFOLIASI KIMIA DAN PENGAITAN Fe³⁺ PADA GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI DARI TEMPURUNG KELAPA TUA. 2017 77.
- Balaji, S.S., Elavarasan, A., Sathish, M., 2016. High performance supercapacitor using N-doped graphene prepared via supercritical fluid processing with an oxime nitrogen source. *Electrochimica Acta* 200, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.03.150>
- Bledzki, A.K., Mamun, A.A., Volk, J., 2010. Barley husk and coconut shell reinforced polypropylene composites: The effect of fibre physical, chemical and surface properties. *Compos. Sci. Technol.* 70, 840–846. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2010.01.022>
- Budi, E., 2011. Tinjauan proses pembentukan dan penggunaan arang tempurung kelapa sebagai bahan bakar. *J. Penelit. Sains* 14.
- Choi, W., Lahiri, I., Seelaboyina, R., Kang, Y.S., 2010. Synthesis of Graphene and Its Applications: A Review. *Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.* 35, 52–71. <https://doi.org/10.1080/10408430903505036>
- Choi, Y.-J., Kim, E., Han, J., Kim, J.-H., Gurunathan, S., 2016. A Novel Biomolecule-Mediated Reduction of Graphene Oxide: A Multifunctional Anti-Cancer Agent. *Molecules* 21, 375. <https://doi.org/10.3390/molecules21030375>

- Conway, B.E., 1999. *Electrochemical Supercapacitors*. Springer US, Boston, MA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3058-6>
- Ekalinda, I.O., 2016. TEKNOLOGI PEMBUATAN ARANG TEMPURUNG KELAPA 2.
- Fawcett, 2005. Charge distribution effects in the solution chemistry of polyatomic ions. *Condens. Matter Phys.* 8, 413. <https://doi.org/10.5488/CMP.8.2.413>
- Geim, A.K., Novoselov, K.S., 2015. A Collection of Reviews from Nature Journals : The Rise of Graphene.
- Geng, D., Yang, S., Zhang, Y., Yang, J., Liu, J., Li, R., Sham, T.-K., Sun, X., Ye, S., Knights, S., 2011. Nitrogen doping effects on the structure of graphene. *Appl. Surf. Sci.* 257, 9193–9198. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.05.131>
- GREENWOOD, N.N., EARNSHAW, A., 1997. *Chemistry of the Elements* 15.
- Guerrero-Contreras, J., Caballero-Briones, F., 2015. Graphene oxide powders with different oxidation degree, prepared by synthesis variations of the Hummers method. *Mater. Chem. Phys.* 153, 209–220. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2015.01.005>
- Guo, B., Fang, L., Zhang, B., Gong, J.R., 2011. Graphene Doping: A Review. *Insciences J.* 80–89. <https://doi.org/10.5640/insc.010280>
- Hong, X., Chung, D.D.L., 2015. Exfoliated graphite with relative dielectric constant reaching 360, obtained by exfoliation of acid-intercalated graphite flakes without subsequent removal of the residual acidity. *Carbon* 91, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2015.04.042>
- J. Barzola-Quiquia, A. Ballestar, P. Esquinazi, S. Dusari, 2011. *Experimental Study of the Intrinsic and Extrinsic Transport Properties of Graphite and Multigraphene Samples*. INTECH Open Access Publisher.
- Jeong, H.M., Lee, J.W., Shin, W.H., Choi, Y.J., Shin, H.J., Kang, J.K., Choi, J.W., 2011a. Nitrogen-Doped Graphene for

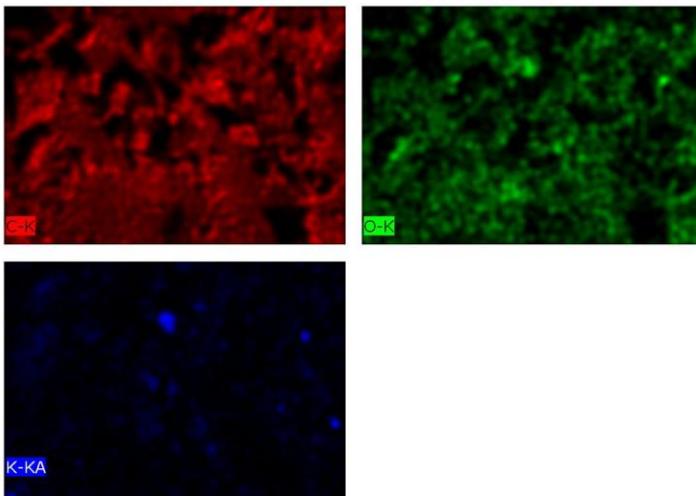
- High-Performance Ultracapacitors and the Importance of Nitrogen-Doped Sites at Basal Planes. *Nano Lett.* 11, 2472–2477. <https://doi.org/10.1021/nl2009058>
- Jeong, H.M., Lee, J.W., Shin, W.H., Choi, Y.J., Shin, H.J., Kang, J.K., Choi, J.W., 2011b. Nitrogen-Doped Graphene for High-Performance Ultracapacitors and the Importance of Nitrogen-Doped Sites at Basal Planes. *Nano Lett.* 11, 2472–2477. <https://doi.org/10.1021/nl2009058>
- Liyanage, C.D., Pieris, M., 2015. A Physico-Chemical Analysis of Coconut Shell Powder. *Procedia Chem.* 16, 222–228. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.12.045>
- Long, D., Li, W., Ling, L., Miyawaki, J., Mochida, I., Yoon, S.-H., 2010. Preparation of Nitrogen-Doped Graphene Sheets by a Combined Chemical and Hydrothermal Reduction of Graphene Oxide. *Langmuir* 26, 16096–16102. <https://doi.org/10.1021/la102425a>
- Loryuenyong, V., Totepvimarn, K., Eimburanaprat, P., Boonchompoo, W., Buasri, A., 2013. Preparation and Characterization of Reduced Graphene Oxide Sheets via Water-Based Exfoliation and Reduction Methods. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2013, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2013/923403>
- Mabbott, G.A., 1983. An introduction to cyclic voltammetry. *J. Chem. Educ.* 60, 697. <https://doi.org/10.1021/ed060p697>
- Nugraheni, A.Y., Nasrullah, M., Prasetya, F.A., Astuti, F., Darminto, 2015. Study on Phase, Molecular Bonding, and Bandgap of Reduced Graphene Oxide Prepared by Heating Coconut Shell. *Mater. Sci. Forum* 827, 285–289. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.827.285>
- Nugraheni, A.Y., Nasrullah, M., Prasetya, F.A., Astuti, F., Darminto, 2015b. Study on Phase, Molecular Bonding, and Bandgap of Reduced Graphene Oxide Prepared by Heating Coconut Shell. *Mater. Sci. Forum* 827, 285–289. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.827.285>

- Prasetya, F.A., Nasrullah, M., Nugraheni, A.Y., Darminto, 2015. Study of Raman Spectroscopy on Graphene Phase from Heat Treatment of Coconut (<i>Cocos nucifera</i>) Shell. *Mater. Sci. Forum* 827, 290–293.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.827.290>
- Safitri, D.A., Susanti, D., Nurdiansah, H., 2017. Analisis Pengaruh Doping Nitrogen Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Berbahan Graphene. *J. Tek. ITS* 6, 90–95.
- Sharma, P., Bhatti, T.S., 2010. A review on electrochemical double-layer capacitors. *Energy Convers. Manag.* 51, 2901–2912.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.06.031>
- Singh, V., Joung, D., Zhai, L., Das, S., Khondaker, S.I., Seal, S., 2011. Graphene based materials: Past, present and future. *Prog. Mater. Sci.* 56, 1178–1271.
<https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.03.003>
- Souza Dias, M. de, Silva Julia, R.M., Costa Pereira, E., 2011. Analysis Of Names Of Organic Chemical Compounds By Using Parser Combinators And The Generative Lexicon Theory. *Int. J. Artif. Intell. Appl.* 2, 71–93.
<https://doi.org/10.5121/ijaia.2011.2407>
- Valmari, T., 2000. Potassium behaviour during combustion of wood in circulating fluidised bed power plants 91.
- Wachid, F.M., Perkasa, A.Y., Prasetya, F.A., Rosyidah, N., Darminto, 2014. Synthesis and characterization of nanocrystalline graphite from coconut shell with heating process. pp. 202–206. <https://doi.org/10.1063/1.4866759>
- Wang, G., Zhang, L., Zhang, J., 2012. A review of electrode materials for electrochemical supercapacitors. *Chem. Soc. Rev.* 41, 797–828.
- Wang, H., Varghese, J., Pilon, L., 2011. Simulation of electric double layer capacitors with mesoporous electrodes: Effects of morphology and electrolyte permittivity.

- Electrochimica Acta 56, 6189–6197.
<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.03.140>
- Warner, J.H., 2013. Introduction, in: Graphene. Elsevier, pp. 1–4.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394593-8.00001-1>
- Wu, Z.-S., Parvez, K., Li, S., Yang, S., Liu, Z., Liu, S., Feng, X., Müllen, K., 2015. Alternating Stacked Graphene-Conducting Polymer Compact Films with Ultrahigh Areal and Volumetric Capacitances for High-Energy Micro-Supercapacitors. *Adv. Mater.* 27, 4054–4061.
<https://doi.org/10.1002/adma.201501643>
- Yaday, R., Dixit, C.K., 2017. Synthesis, characterization and prospective applications of nitrogen-doped graphene: A short review. *J. Sci. Adv. Mater. Devices* 2, 141–149.
<https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2017.05.007>
- Zhang, X.W., Yang, G.W., 2009. Novel Band Structures and Transport Properties from Graphene Nanoribbons with Armchair Edges. *J. Phys. Chem. C* 113, 4662–4668.
<https://doi.org/10.1021/jp810483r>
- Zhao, C., Zheng, W., 2015. A Review for Aqueous Electrochemical Supercapacitors. *Front. Energy Res.* 3.
<https://doi.org/10.3389/fenrg.2015.00023>

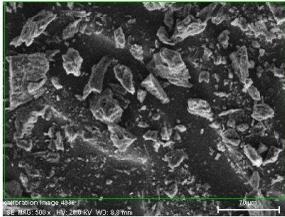
"halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN

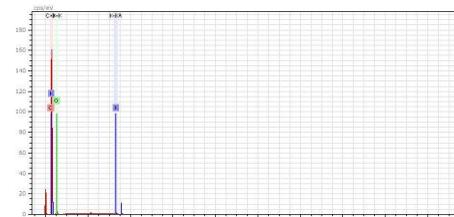


C-K, O-K, K-KA Date: 9/22/2017 3:46:01 PM
Image size: 506 x 352
Mag: 499.99997x
HV: 20.0kV

Karbon Batok Kelapa

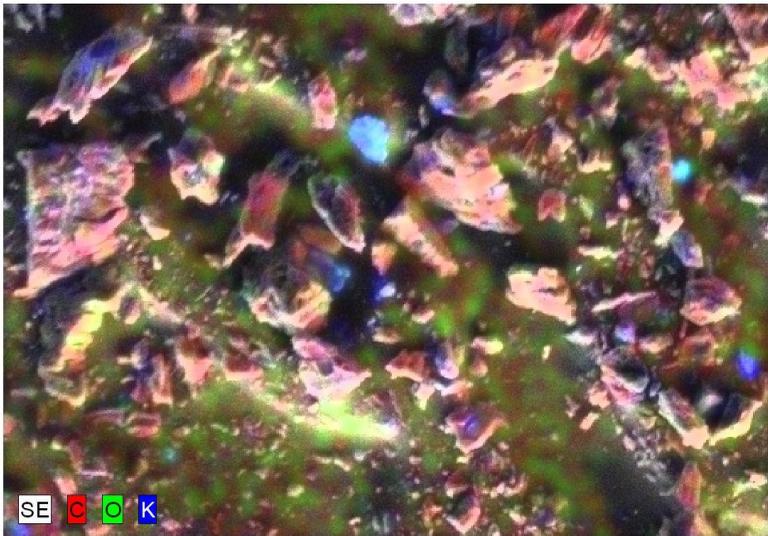


calibration image 4936 Date: 9/22/2017 3:42:26
 PMImage size: 512 x
 384 Mag: 499.99997x HV: 20.0kV



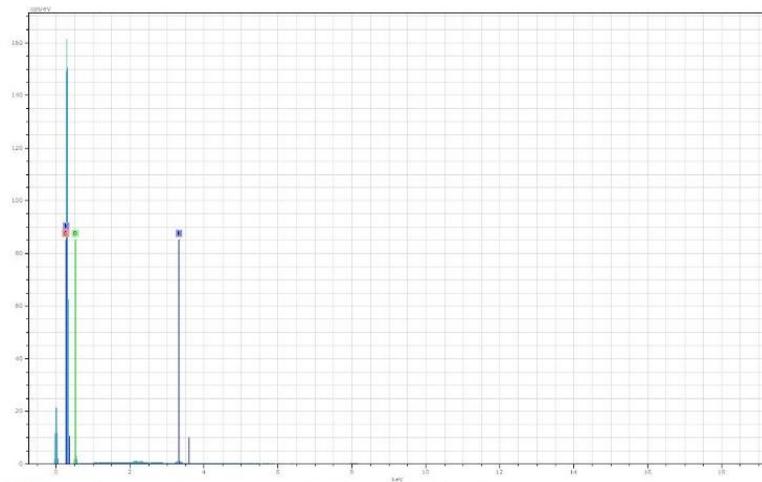
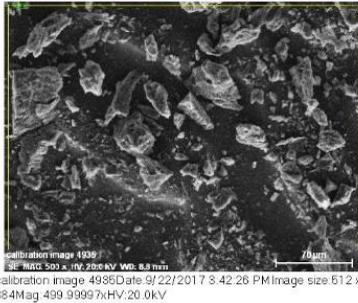
Map Date: 9/22/2017 3:45:08 PM HV: 20.0kV
 Pulse th.: 6.13kops

calibration image 21 3890 Date: 9/22/2017 3:45:08 PM Image size: 506 x
 352 Mag: 499.99997x HV: 20.0kV



SE C O K

Karbon Batok Kelapa



3 181 Date:9/22/2017 3:43:23 PM HV:20.0kV Puls th.:10.66kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [%]
C	6	K-series	78.42	78.42	83.18	24.0
O	8	K-series	20.81	20.81	16.57	6.7
K	19	K-series	0.77	0.77	0.25	0.1
Total:			100.00	100.00	100.00	

BIODATA



Penulis bernama Ahmad Rizki Kurniawan, nama panggilan Rizki. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara yang dilahirkan di Sidoarjo, 11 Mei 1996. Ayah penulis bernama Imam Hanafi, ibu penulis bernama Sri Muda Rachmawati, dan kakak perempuan penulis bernama Lilis Andriyani. Saat ini tinggal di Ds. Banjarkemantren RT 4 RW 4 Buduran Sidoarjo, Jawa Timur.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Menara Ilmu, MI Negeri Buduran, MTs Negeri Sidoarjo, dan SMA Negeri 2 Sidoarjo. Pada tahun 2014, penulis menempuh perkuliahan di Departemen Fisika FIA ITS. Selama perkuliahan penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika ITS (HIMASIKA ITS) pada periode 2015 – 2016 sebagai staff *Public Relation Department* (PRD) dan memegang program kerja temu alumni jurusan fisika FMIPA ITS. Penulis mengikuti beberapa pelatihan selama perkuliahan termasuk pelatihan LKMM Pra-TD dan LKMM TD. Aktifitas lainnya adalah sebagai Asisten Laboratorium Fisika Dasar untuk mata kuliah Fisika Dasar I dan Fisika Dasar II. Pada tahun ketiga perkuliahan penulis pernah mengikuti *short program* yang diselenggarakan di Bangkok, Thailand dengan nama program 3rd ASPNF 2017. Kemudian di tahun keempat perkuliahan penulis terpilih sebagai delegasi AUN – QA untuk akreditasi tingkat ASEAN di jurusan fisika FIA ITS. Pada tahun yang sama penulis menjadi delegasi ITS untuk program studi eksekursi dengan nama program “*ITS Goes Beyond to Singapore*”. Penulis berharap

penelitian ini dapat bermanfaat dan dapat dikembangkan lebih lanjut. Penulis berharap apabila terdapat kritik dan saran yang membangun terkait penelitian yang dilakukan dapat dikirim ke email ahmad11rizki@gmail.com.