



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – SF 141501

**SINTESIS ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DENGAN
PROSES EKSFOLIASI KIMIA DAN PENGAITAN Fe^{3+}
PADA GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI DARI
TEMPURUNG KELAPA TUA**

**GILANG BASWARA ANGGARA PUTRA
NRP 1113 100 074**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Darminto**

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR – SF 141501

**SINTESIS ELEKTRODA SUPERKAPASITOR
DENGAN PROSES EKSFOLIASI KIMIA DAN
PENGAITAN Fe^{3+} PADA GRAFENA OKSIDA
TEREDUKSI DARI TEMPURUNG KELAPA TUA**

**GILANG BASWARA ANGGARA PUTRA
NRP 1113 100 074**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Darminto**

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - SF 141501

**SYNTHESIS OF SUPERCAPACITOR
ELECTRODE WITH CHEMICAL EXFOLIATION
AND Fe³⁺ INSERTION IN REDUCED GRAPHENE
OXIDE FROM COCONUT SHELL**

**GILANG BASWARA ANGGARA PUTRA
NRP 1113 100 074**

**Supervisor
Prof. Dr. Darminto**

**DEPARTMENT OF PHYSICS
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

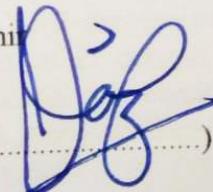
**SINTESIS ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DENGAN
PROSES EKSFOLIASI KIMIA DAN PENGAITAN Fe³⁺
PADA GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI DARI
TEMPURUNG KELAPA TUA**

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

Oleh:
GILANG BASWARA ANGGARA PUTRA
NRP 1113100074

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr. Darminto
NIP. 19600303 198701.1.002


(.....)

Surabaya, 17 Juli 2017



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SINTESIS ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DENGAN PROSES EKSFOLIASI KIMIA DAN PENGAITAN Fe³⁺ PADA GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI DARI TEMPURUNG KELAPA TUA

Nama : Gilang Baswara Anggara Putra
NRP : 1113100074
Departemen : Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam ITS
Pembimbing : Prof. Dr. Darminto

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan bahan dasar rGO dari tempurung kelapa tua yang dicampurkan dengan HCl dalam proses penyayatan kimia serta glukosa dan Fe³⁺ yang dikaitkan untuk meningkatkan nilai kapasitansi elektroda super kapasitor jenis EDLC. Pada penelitian ini akan menyelidiki pengaruh pengenceran HCl dalam proses penyayatan secara kimia serta menyelidiki pengaruh penambahan massa Fe terhadap nilai kapasitansi elektroda dan rapat energi super kapasitor EDLC. Karakterisasi elektroda digunakan XRD, XRF, CHONS, PSA, CV, FTIR, serta SEM-EDX. Hasil XRD dan XRF memperlihatkan bahan dasar tempurung kelapa merupakan rGO dengan sudut difraksi $2\theta = 24^\circ$ dan 44° dan unsur utama terbanyak ialah karbon (C) sebanyak 81%. Pengujian PSA menghasilkan bahwa lapisan rGO telah tereduksi ketebalannya hingga 57 nm. Pengujian CV yang mendapatkan nilai kapasitansi terbesar dimiliki oleh variasi sampel R21 (perbandingan rGO : HCl : Glu : Fe = 2:2:2:1) hingga 99 F/g dan rapat energi 1,345 W/g. Hal ini didukung oleh hasil pengujian FTIR yang menghasilkan gugus fungsi rGO berupa C=C, O-H, C-O dan Fe-O, serta SEM-EDX memperlihatkan persebaran unsur yang telah merata. Selain itu Fe tidak terikat dengan rGO dan hanya mengaitkan pada lapisan rGO. Kemungkinan molekul yang dihasilkan pada proses pencampuran

bahan pada elektroda adalah FeOH^{2+} yang secara umum terkandung ion Fe^{3+} . Hal ini telah membuktikan bahwa proses pengaitan Fe telah terjadi.

Kata kunci : grafena oksida tereduksi (rGO), kapasitansi spesifik, super kapasitor EDLC

**SYNTHESIS OF SUPERCAPACITOR ELECTRODE
WITH CHEMICAL EXFOLIATION AND Fe³⁺
INSERTION IN REDUCED GRAPHENE OXIDE
FROM OLD COCONUT SHELL**

Name : Gilang Baswara Anggara Putra
NRP : 1113100074
Department : Physics, Faculty of Mathematics and
Science ITS
Supervisor : Prof. Dr. Darminto

ABSTRACT

This study uses the basic material rGO from old coconut shell that mixed with HCl in the chemical exfoliation as well as glucose and Fe³⁺ inserted to increase the electrode specific capacitance EDLC type supercapacitor. This research will investigate the dilution effect of HCl in the process of chemical exfoliation as well as to investigate the effect of additional Fe against EDLC electrode specific capacitance and energy density. Characterization of electrodes was conducted using XRD, XRF, CHONS, PSA, CV, FTIR, and SEM-EDX. The results of XRD and XRF show the basic ingredients of coconut shell which is RGO with diffraction angles of $2\theta = 24^\circ$ and 44° and the most major elements are carbon (C) as much as 81%. The layer thickness of RGO measured by PSA has been reduced to be 57 nm. The CV measurement result in the largest capacitance of 99 F/g and energy density up to 1,345 W/g for the sample rGO: HCl: Glu: Fe = 2: 2: 2: 1. This is supported by the results of FTIR testing that produces RGO functional groups such as C=C, O-H, C-O, and Fe-O. Meanwhile, the SEM-EDX shows the distribution of elements which has been spread uniformly where Fe is in the form of

FeOH^{2+} or generally Fe^{3+} ion. It means that Fe^{3+} ion has inserted into the rGO atomic bondings.

Keyword : *supercapacitor, reduce graphene oxide (rGO), capacitance*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiratan Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, petunjuk serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul

“SINTESIS ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DENGAN PROSES EKSFOLIASI KIMIA DAN PENGAITAN Fe^{3+} PADA GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI DARI TEMPURUNG KELAPA TUA”

Sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana (S1) Departemen Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ibu Pahalani Operaningrum dan Bapak Sri Ayudha yang telah memberikan segala hal terbaik kepada penulis dari kecil hingga dewasa.
2. Bapak Prof. Dr. Darminto selaku dosen pembimbing serta dosen wali penulis atas segala bimbingan dan motivasinya serta saran yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Kedua adik tersayang, Bagas Dewangkara dan Bening Septandayu Putri yang selalu memberi dukungan.
4. Rekan satu tim *Graphene* di bawah bimbingan Bapak Prof. Dr. Darminto yang telah membantu dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini
5. Serta berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. demi kesempurnaan Tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN MUKA.....	Error! Bookmark not defined.
COVER PAGE.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Grafena Oksida Tereduksi (<i>reduced Graphene Oxide</i> , rGO).....	5
2.2 Tempurung Kelapa Tua	8
2.3 Grafena Oksida Tereduksi Tempurung Kelapa	9
2.4 Superkapasitor.....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Alat dan Bahan.....	19

3.1.1 Alat.....	19
3.1.2 Bahan	19
3.2 Prosedur Penelitian	19
3.2.1 Tahap Produksi rGO	19
3.2.2 Tahap Pembuatan Elektroda	20
3.3 Karakterisasi Material	20
3.4 Diagram Alir Penelitian	23
3.4.1 Sintesis rGO Tempurung Kelapa	23
3.4.2 Sintesis Elektroda Superkapasitor.....	24
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Analisis Struktur rGO	25
4.2 Analisis Komposisi rGO	26
4.3 Analisis Distribusi Ukuran Partikel Serbuk Elektroda	28
4.4 Analisis Kapasitansi Spesifik Elektroda Superkapasitor.....	33
4.5 Analisis Ikatan Molekul dan Morfologi Elektroda ..	38
BAB V.....	45
KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	xix
BIODATA PENULIS	xxvii

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Beberapa hasil penelitian terdahulu elektroda superkapasitor EDLC berbahan dasar rGO.....	16
Tabel 4. 1	Komposisi Sampel rGO dari Tempurung Kelapa menurut data XRF dan <i>CHONS Analyzer</i>	28
Tabel 4. 2	Hasil perhitungan kapasitansi spesifik elektroda superkapasitor	37

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Beberapa Polimorf Karbon (a) <i>Graphene</i> , (b) <i>Fullerenes</i> , (c) <i>Nanotubes</i> , dan (d) Grafit (Geim and Novoselov, 2015)	6
Gambar 2.2 Proses pembuatan rGO dari grafit (Atkins, 2005)	7
Gambar 2.3 Difraksi kristal tempurung kelapa tua hasil pembakaran (Nugraheni et al, 2015).....	9
Gambar 2.4 Hasil Fitting Spektroskopi Raman dari Arang Tempurung Kelapa (Prasetya et al, 2015).....	10
Gambar 2.5 Pola grafik FTIR dari serbuk arang tempurung kelapa dengan pemanasan 400°C selama 5 jam (Nugraheni, et al, 2015)	11
Gambar 2.6 Exfoliasi rGO menggunakan asam dan pemanasan (Al-Hazmi et al, 2015)	12
Gambar 2.7 Mekanisme penyimpanan energi dalam EDLC pada (a) tanpa potensial dan (b) saat diberi potensial (Sharma and Bhatti, 2010).....	13
Gambar 3.1 Diagram alir produksi rGO tempurung kelapa	23
Gambar 3.2 Diagram Alir pembuatan elektroda	24
Gambar 4.1 Pola Difraksi (a) bahan dasar RGO, (b) rGO penelitian Fu, dan (c) rGO penelitian Nugraheni	26
Gambar 4. 2 Hasil pengukuran PSA untuk serbuk rGO tanpa perlakuan	29
Gambar 4. 3 Hasil PSA untuk (a) variasi massa Fe dan (b) variasi pengenceran HCl	31
Gambar 4. 4 Bentuk gelombang tegangan keluaran saat pengujian CV	33

Gambar 4. 5 Grafik CV untuk (a) variasi pengenceran HCl dan (b) variasi massa	36
Gambar 4. 6 Spektrum transmitansi hasil pengujian FTIR ..	39
Gambar 4. 7 Distribusi ion Fe pada pemodelan kimia FeCl ₃ -HCl-H ₂ O pada suhu 75 °C (Seung Lee, 2003)	41
Gambar 4. 8 Morfologi elektroda variasi R21 dengan (a) SEM perbesaran 1000x, (b) SEM perbesaran 5000x, dan (c) EDX	43

DAFTAR LAMPIRAN

L.1 Hasil Spektrum XRF	xxiii
L.2 Report EDX	xxiv

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi menuntut adanya perkembangan dalam perangkat penyimpanan energi yang lebih baik. Beberapa dekade, masyarakat umum sebagian besar baru menggunakan baterai dan kapasitor saja. Namun baterai memerlukan waktu pengisian yang cukup lama walaupun rapat energi yang cukup besar. Sedangkan kapasitor memiliki waktu pengisian yang sangat cepat namun rapat energinya kecil. Dalam perkembangannya, perangkat penyimpan energi terbagi menjadi beberapa jenis seperti *fuel cell*, *flywheels*, serta superkapasitor (Hadjipaschalis et al., 2009).

Superkapasitor merupakan perangkat yang memiliki rapat energi besar, memiliki daur hidup yang panjang, serta pengisian yang cepat. Sehingga perangkat ini efektif dalam menyimpan energi. Dalam perkembangannya superkapasitor dibagi menjadi beberapa jenis antara lain kapasitor elektrokimia dwi lapis (*electrochemical double layer capacitor*, EDLC) serta pseudokapasitor. Superkapasitor diyakini dapat menjadi media penyimpan energi yang efektif karena perangkat yang berdimensi kecil, menggunakan reaksi non-faraday, dan ringan. Hal ini sesuai dengan diagram ragone (*ragone plot diagram*) yang menempatkan superkapasitor dalam daerah paling menguntungkan, yaitu memiliki kapasitas energi spesifik terbesar, dan waktu pelepasan muatan yang menengah (tidak terlalu cepat maupun lambat) (Zheng et al., 2017).

EDLC pada umumnya menggunakan bahan dasar polimorf karbon seperti grafena. Sedangkan pseudokapasitor menggunakan oksida logam dan reaksi faraday dalam menyimpan energinya. EDLC memiliki kekurangan dalam nilai kapasitansi yang tidak tinggi, namun memiliki daur hidup yang banyak. Sedangkan pseudokapasitor memiliki nilai kapasitansi tinggi

namun memiliki daur hidup yang sedikit. Bahan oksida logam yang cukup efektif digunakan adalah Fe_3O_4 maupun ionnya Fe^{3+} karena memiliki kestabilan yang baik (Li et al., 2016). Sedangkan penambahan gula pada campuran elektroda dapat memperluas permukaan, sehingga nilai kapasitansi elektroda juga ikut tinggi (Ma et al., 2014).

Grafena Oksida Tereduksi (*reduced Graphene Oxide*, rGO) telah menjadi topik penelitian yang menarik dalam satu dekade terakhir karena keunggulan pada sifat listrik, termal, konduktivitas, dan mekanik serta mempunyai luas permukaan yang besar sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku superkapasitor sebagai pengganti grafena yang memerlukan produksi cukup lama dan rumit. Pada umumnya rGO dibuat melalui Metode Hummer dan berasal dari grafit tambang. Namun pada penelitian sebelumnya, rGO dapat dibuat melalui pembakaran tempurung kelapa tua. rGO ini lebih ramah lingkungan serta memiliki karakteristik yang setara rGO grafit pada umumnya. Tempurung kelapa tua yang telah mengalami proses karbonisasi pada suhu 400°C mempunyai ikatan molekul utama dari grafena yaitu C=C dan C-C. Selain itu juga mengandung banyak ikatan lain seperti C-H, C-O, C=O dan O-H yang mengindikasikan adanya fasa rGO (Nugraheni et al., 2015). Sedangkan hasil pengujian Spektroskop Raman menghasilkan puncak pada 1300 cm^{-1} dan 1590 cm^{-1} dengan rasio I_D/I_G sekitar 2,5 dan hasil pengujian XRD yang menunjukkan puncak pada 25° dan 40° yang mengindikasikan adanya fasa rGO (Prasetya et al., 2015). *Energy gap* yang dimiliki rGO tempurung masih berkisar 2 eV (Mas'udah et al., 2016).

Pada penelitian ini akan menggunakan material Fe_3O_4 yang merupakan jenis pseudokapasitor, rGO tempurung kelapa yang merupakan material penyusun EDLC serta ramah lingkungan, dan glukosa yang bertindak sebagai penghalang antar lapisan untuk meluaskan permukaan kapasitor dan meningkatkan kapasitansnya. Sehingga diharapkan dengan aplikasi pencampuran dari rGO/Glukosa/ Fe^{3+} yang menggunakan rGO

tempurung kelapa akan menghasilkan superkapasitor yang ramah lingkungan, menggunakan bahan dasar yang melimpah, memiliki nilai kapasitansi tinggi, serta daur hidup yang panjang.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa masalah yang perlu diselesaikan Masalah tersebut antara lain pengaruh pengenceran HCl pada proses eksfoliasi kimiawi terhadap ketebalan dan nilai kapasitansi spesifik superkapasitor berbasis rGO tempurung kelapa. Selain itu perlu diteliti tentang pengaruh komposisi campuran rGO/Glukosa/Fe³⁺ terhadap nilai kapasitansi spesifik elektroda superkapasitor EDLC.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, permasalahan dibatasi pada sintesis rGO yang disesuaikan dengan penelitian sebelumnya, yaitu batok kelapa setelah dibakar, dipanaskan pada oven dengan suhu 400°C selama 5 jam. Komposisi pengenceran HCl terhadap rGO menggunakan perbandingan rGO : HCl : Glukosa : Fe = 1:1:1:1, 1:5:1:1, dan 1:10:1:1. Untuk variasi komposisi Fe dibuat dengan komposisi rGO : HCl : Glukosa : Fe menjadi 1:1:1:1, 1:1:1:2, dan 2:2:2:1.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh pengenceran HCl pada proses eksfoliasi kimiawi terhadap ketebalan rapat energi, dan nilai kapasitansi spesifik superkapasitor berbasis rGO tempurung kelapa. Selain itu, dapat diteliti pengaruh komposisi campuran rGO/Glukosa/Fe³⁺ terhadap nilai kapasitansi spesifik dan rapat energi elektroda superkapasitor EDLC. Sehingga diharapkan didapat elektroda superkapasitor yang memiliki nilai kapasitansi tinggi serta ramah lingkungan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan proposal tugas akhir ini, tersusun dalam tiga bab yaitu: Bab 1 Pendahuluan berisi latar belakang masalah, maksud dan tujuan, dan perumusan masalah tugas akhir. Bab 2 Tinjauan Pustaka berisi mengenai kajian pustaka yang digunakan pada tugas akhir. Bab 3 Metodologi Penelitian berisi tentang metode dan tahap pengambilan data tugas akhir. Kemudian data yang didapat akan disajikan dan dibahas pada Bab 4 Analisis Data dan Pembahasan. Terakhir akan ditutup dengan saran serta kesimpulan dari penelitian ini di Bab 5 Kesimpulan dan Saran

BAB II

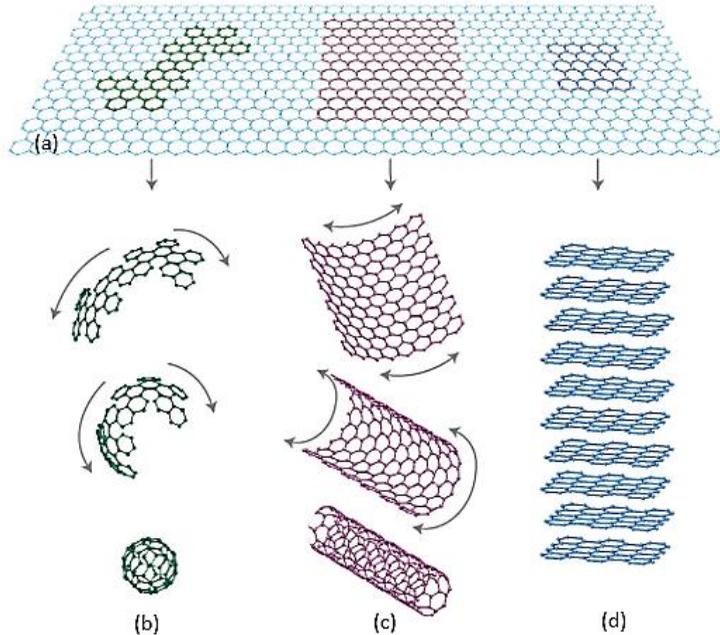
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Grafena Oksida Tereduksi (*reduced Graphene Oxide, rGO*)

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 (Geim and Novoselov, 2015) .

Karbon memiliki beberapa polimorf , namun di alam hanya ditemukan 2 polimorf yaitu grafit dan berlian. Pada berlian, keempat elektron pada orbital sp^3 memiliki energi yang sama, sehingga dapat berikatan dengan karbon lain dan membentuk struktur 3 dimensi. Sedangkan pada grafit, hanya dua dari tiga orbital $2p$ yang terlibat dalam hibridisasi, sehingga hanya terbentuk orbital sp^2 saja. Orbital sp^2 mengarah tegak lurus dengan orbital $2p_z$ sehingga berada pada bidang X-Y pada sudut 120° . Selain itu antar karbon terjadi ikatan antar karbon yang sebidang sehingga terbentuk struktur grafit *planar hexagonal* atau yang sering disebut serupa dengan sarang lebah ("*honeycomb*") Dibandingkan dengan berlian, ikatan σ antar karbon yang sebidang (*in-plane*) sangat kuat. Sedangkan ikatan π yang terjadi antarbidang yang disebabkan oleh orbital $2p_z$ memiliki energi ikat

yang kecil sehingga mudah untuk diputus dalam pembuatan Grafena Oksida (*graphene oxide*, GO) atau rGO (Warner, 2013).

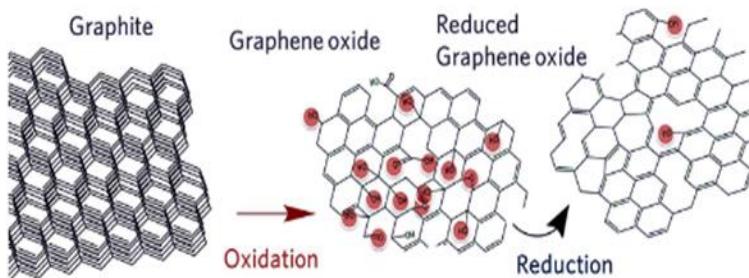


Gambar 2.1 Beberapa Polimorf Karbon (a) *Graphene*, (b) *Fullerenes*, (c) *Nanotubes*, dan (d) Grafit (Geim and Novoselov, 2015)

Grafena merupakan salah satu polimorf karbon yang berbentuk datar dan 2 dimensi (2D) dengan kisi segi enam. Grafena dapat dikatakan sebagai dasar dari berbagai polimorf karbon lainnya seperti *fullerenes* 0D dengan melipatnya seperti Gambar 2.1(b), *nanotubes* 1D dengan menggulungnya seperti pada Gambar 2.1(c), dan grafit 3D dengan menumpuknya seperti yang dapat dilihat pada ilustrasi di Gambar 2.1(d). Banyak aplikasi dari grafena yang dapat digunakan antara lain memiliki konduktivitas

listrik yang tinggi dan sifat kelistrikan yang baik, bersifat superparamagnetik, serta memiliki kekuatan mekanik yang baik. Sering kali grafena dibuat melalui proses reduksi dan oksidasi dari GO dan rGO (Geim and Novoselov, 2015).

Terdapat 3 buah turunan dari grafena, yaitu grafit, GO, dan rGO. Grafit merupakan material dasar karbon yang bersifat amorf dan bertumpuk serta kaya akan karbon dan oksigen. GO merupakan hasil oksidasi grafit yang menambah jumlah oksigen dan beberapa ikatan *Van der Waals* telah terlepas. Sehingga ketebalan dari sampel telah berkurang. Sedangkan rGO merupakan hasil reduksi oksigen dari GO, sehingga terdapat ikatan yang kosong akan oksigen. Visualisasi grafit, GO, dan rGO dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Atkins, 2005).



Gambar 2.2 Proses pembuatan rGO dari grafit (Atkins, 2005)

GO maupun bentuk hasil reduksi oksigennya rGO telah dipelajari secara mendalam, karena dapat bertindak sebagai pengganti grafena, karena teknik pembuatannya yang relatif lebih mudah namun memiliki hasil yang setara. Terdapat beberapa teknik 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 (Warner, 2013). 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).

2.2 Tempurung Kelapa Tua

Perkebunan Kelapa merupakan salah satu produk perkebunan utama di beberapa negara di Asia seperti India dan Indonesia. Namun perkebunan ini menghasilkan limbah berupa tempurung kelapa. Tempurung kelapa merupakan bagian yang keras pada kelapa yang memiliki ketebalan antara 3-8 mm yang sebagian besar terdiri dari lignin, selulosa, dan hemiselulosa (Liyange and Pieris, 2015) Tempurung kelapa dapat diubah menjadi arang maupun karbon teraktivasi melalui proses karbonisasi.

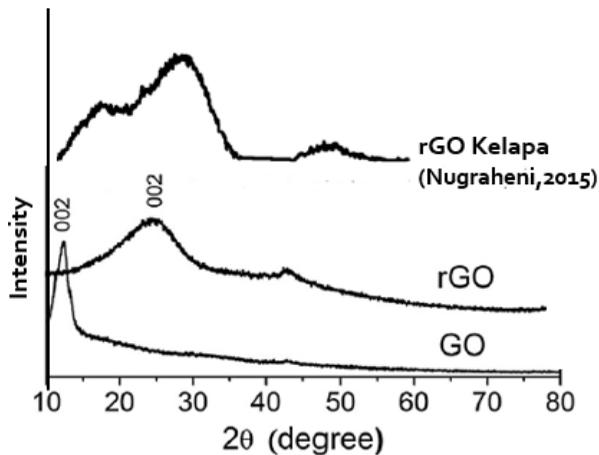
Karbonisasi merupakan proses konversi dari suatu zat organik menjadi karbon. Karbonisasi dilakukan dengan pembakaran untuk menghilangkan kandungan air dan material yang mudah menguap. Tempurung kelapa yang telah menjadi arang akan menghasilkan sebagian besar karbon sebesar 57.11 %, oksigen 42.67 %, dan material lain sebesar 0.23% (Wachid et al., 2014).

Selulosa merupakan senyawa organik dengan formula $(C_6H_{10}O_5)_n$ yang terdapat pada dinding sel dan berfungsi untuk menguatkan struktur. Hemiselulosa merupakan 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 yang berfungsi sebagai pengikat sel-sel yang lain dan memberikan

kekuatan (Campbell, 2006). Selulosa, hemiselulosa, dan lignin sangat berpengaruh terhadap kandungan fasa karbon yang terbentuk.

2.3 Grafena Oksida Tereduksi Tempurung Kelapa

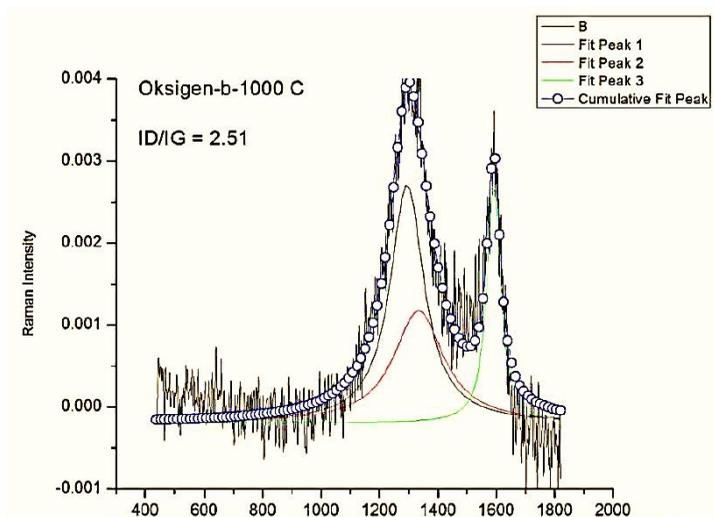
Proses pemanasan pada tempurung kelapa akan menghasilkan perubahan yang bertahap. Tahap awal, material yang dibakar akan kehilangan air, hidrogen, dan oksigen dalam jumlah banyak, sehingga mereduksi ukurannya hingga 10% dari massa awal. Kemudian karbon akan cenderung berkembang menjadi grafit dan menghasilkan arang yang memiliki struktur teratur (Liyana and Pieris, 2015).



Gambar 2.3 Difraksi kristal tempurung kelapa tua hasil pembakaran (Nugraheni et al, 2015)

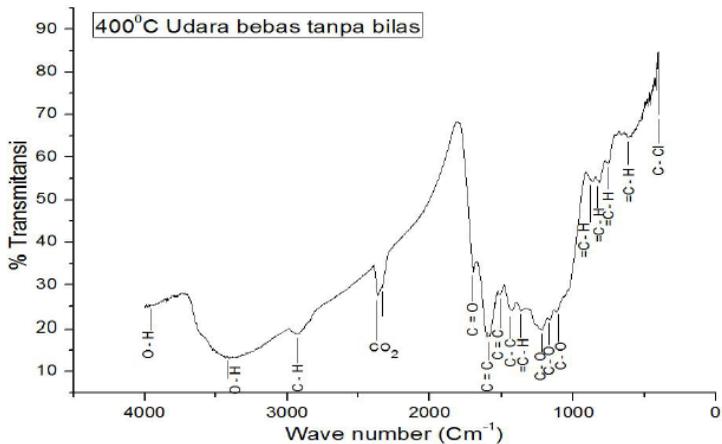
Hasil pembakaran tempurung kelapa yang telah menjadi arang dan ditumbuk akan menghasilkan fasa rGO sesuai dengan Gambar 2.3. Dapat terlihat bahwa hasil pembakaran tempurung kelapa menghasilkan fasa rGO dengan puncak 25° dan 45° dalam pemanasan 1000°C dalam lingkungan udara (Nugraheni et al.,

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 terlihat pada Gambar 2.4 (Prasetya et al., 2015)



Gambar 2.4 Hasil *Fitting* Spektroskopi Raman dari Arang Tempurung Kelapa (Prasetya et al, 2015)

Gambar 2.5 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 hiroksil (O-H), ikatan karbonil (C=O) dan aromatik (C-H) (Nugraheni et al., 2015).

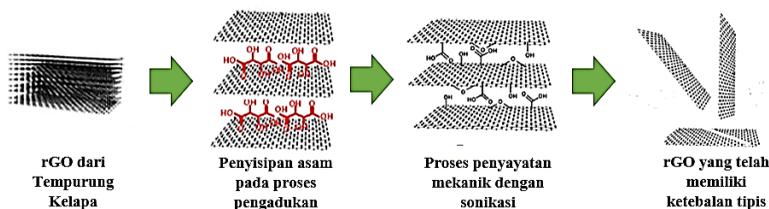


Gambar 2.5 Pola grafik FTIR dari serbuk arang tempurung kelapa dengan pemanasan 400°C selama 5 jam (Nugraheni, et al, 2015)

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 Walls* antar tumbukan 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 (eksfoliasi) lainnya ialah dengan menggunakan perlakuan mekanik menggunakan teknik sonikasi. 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 Walls* akan terlepas akibat gelombang ultrasonik yang digunakan. Teknik

ini menghasilkan rGO dengan ketebalan yang cukup tipis hingga 10 nm menggunakan TEM (Loryuenyong et al., 2013). Beberapa teknik lain menggunakan penambahan perlakuan hidrotermal untuk melepaskan ikatan $\pi - \pi$ antar bidang rGO.



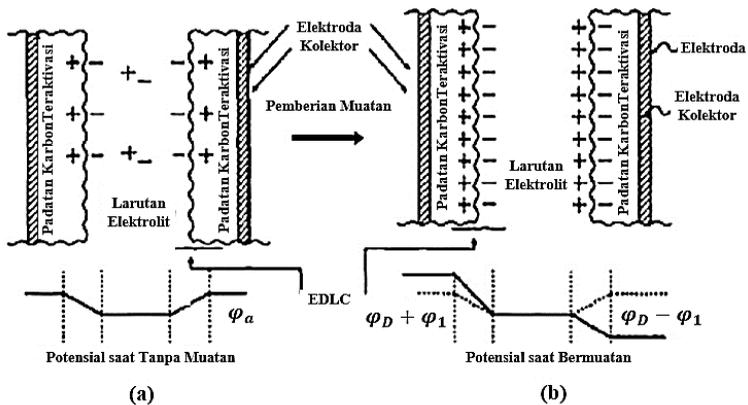
Gambar 2.6 Exfoliasi rGO menggunakan asam dan pemanasan (Al-Hazmi et al, 2015)

Teknik yang paling efektif dalam menyayat lapisan rGO ialah menggunakan bantuan material asam. rGO dicampurkan menggunakan asam kuat seperti HCl maupun H_2SO_4 agar asam kuat tersebut menyisip di antara lapisan rGO. Kemudian larutan diberi perlakuan panas pada suhu $750^\circ C$ hingga terjadi pemuain jarak antar lapisan akibat gerak dari partikel asam. Sehingga ikatan *Van der Walls* 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 Walls*. 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 2.6 (Al-Hazmi et al., 2015).

2.4 Supercapacitor

Supercapacitor merupakan perangkat yang memiliki densitas energi tinggi, kemampuan pengisian yang cepat, serta memiliki daur hidup yang amat banyak. Berdasarkan mekanisme

penyimpanan energi, superkapasitor dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu Kapasitor Elektrokimia Dwi lapis (*electrochemical double layer capacitor*, EDLC) dan pseudokapasitor (Hadjipaschalis et al., 2009). 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 (Bard and Faulkner, 2001). 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., 2012). Sehingga dimungkinkan untuk penggunaan yang luas dalam industri.



Gambar 2.7 Mekanisme penyimpanan energi dalam EDLC pada (a) tanpa potensial dan (b) saat diberi potensial (Sharma and Bhatti, 2010)

EDLC bekerja dengan menggunakan dua buah elektroda dan suatu elektrolit. Pada keadaan tanpa potensial listrik, maka muatan dari cairan elektrolit akan tersusun acak dan elektroda tidak bermuatan. Namun saat diberi potensial listrik, maka akan terjadi penyejajaran atau pengaturan muatan seperti pada Gambar 2.6 (b). Sehingga mengakibatkan salah satu elektroda bermuatan positif dan menarik ion-ion negatif dari elektrolit. Sedangkan disisi lain elektroda menjadi bermuatan negatif dan menarik ion-ion positif elektrolit. Ion-ion elektrolit disimpan pada permukaan elektroda. Sehingga apabila semakin luas permukaan elektroda, maka semakin banyak muatan yang dapat tersimpan pada elektroda. Namun pada EDLC tidak terjadi perpindahan maupun pertukaran muatan pada permukaan elektroda, sehingga tidak terjadi peristiwa reduksi maupun oksidasi pada kedua permukaan elektroda. Karena tidak ada reduksi maupun oksidasi, hal ini mengakibatkan EDLC dapat memiliki daur hidup yang lebih panjang dan tidak mudah rusak ketika proses pengisian dan pemakaian (*charge-discharge*) (Sharma and Bhatti, 2010).

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.

Beberapa penelitian sebelumnya, beberapa oksida logam transisi sebagai elektroda pada pseudokapasitor dapat memiliki

nilai kapasitansi yang amat tinggi. RuO_2 amorf diketahui memiliki nilai kapasitansi yang tinggi, kemampuan pengisian berulang yang cukup, serta memiliki konduktivitas yang baik pula (Qu and Shi, 1998). Namun, RuO_2 memiliki kekurangan berupa material yang beracun dan tidak ramah lingkungan serta membutuhkan biaya produksi yang tinggi untuk pembuatan oksida logamnya. Di sisi lain 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 (Li et al., 2016). 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.

Selain itu penggunaan glukosa sebagai bahan aditif pada superkapasitor cukup menjanjikan dalam meningkatkan nilai kapasitansi. Glukosa 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. Glukosa telah terbukti meningkatkan nilai kapasitansi dari EDLC dari 209 F/g menjadi 273 F/g (Ma et al., 2014).

Tabel 2.1 Beberapa hasil penelitian terdahulu elektroda superkapasitor EDLC berbahan dasar rGO

Perpaduan	Kapasitansi Spesifik (F/g)	Referensi
<i>Sugar-derived/Carbon Graphene</i>	203	(Ma et al., 2014)
Komposit Sukrosa/rGO Tempurung Kelapa	4	(Hidayat and Darminto, 2016)
rGO Tempurung Kelapa	13	(Hidayat and Darminto, 2016)
<i>Fe₃O₄@rattle-type porous carbon</i>	216	(You et al., 2014)
<i>C-dot decorated Fe₃O₄</i>	208	(Bhattacharya and Deb, 2015)
<i>Graphene/iron oxide</i>	154	(Ghasemi and Ahmadi, 2015)
<i>Porous Fe₃O₄/carbon</i>	139	(Huang et al., 2014)
Fe ₃ O ₄ /Glukosa/Graphene	243	(Li et al., 2016)

Elektroda superkapasitor yang berbasis campuran antara superkapasitor EDLC dengan pseudokapasitor telah terbukti menghasilkan nilai kapasitansi yang cukup tinggi. Hal ini seperti yang terlihat pada Tabel 2.1. Pada elektroda rGO dengan penambahan gula sebagai *spacer* yang dilakukan oleh Ma pada tahun 2014 menghasilkan kapasitansi spesifik hingga 203 F/g. Hal ini disebabkan partikel gula menyusup diantar dua lapisan rGO. Sedangkan pada paduan glukosa dan rGO tempurung kelapa yang dilakukan oleh Hidayat pada tahun 2016, masih menunjukkan nilai kapasitansi yang rendah. Hal ini disebabkan partikel rGO yang masih tebal (lebih dari 300 nm) dan partikel gula masih menggumpal di luar partikel rGO.

Pengaruh penambahan rGO dengan Fe_3O_4 menghasilkan nilai kapasitansi yang juga tinggi hingga 154 F/g. Hal ini mengindikasikan bahwa perpaduan ini dapat digunakan untuk meningkatkan nilai kapasitansi. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Li tahun 2016 yang menggunakan perpaduan rGO, glukosa, dan Fe_3O_4 juga dapat meningkatkan nilai kapasitansi dan memiliki daur hidup yang cukup banyak. Sehingga hal ini merupakan hal yang menarik, apabila rGO grafit yang pada umumnya digunakan dapat digantikan oleh rGO tempurung kelapa.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

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 peralatan yang digunakan dalam proses sintesis antara lain adalah tempurung kelapa, *Hydrochloric Acid* (HCl), aquades, *Dextrose Monohydrate* (C₆H₁₂O₆), *Iron (III) Chloride Hexahydrate* (FeCl₃.6H₂O), *Pottasium Hydroxide* (KOH), dan Alkohol.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Tahap Produksi rGO

rGO diproduksi melalui beberapa tahapan. Tahap awal tempurung kelapa dibersihkan dari kotoran dan serabutnya hingga tersisa bagian tempurung yang keras (terdiri dari kitin) saja. Kemudian tempurung kelapa dibakar pada suhu 100-400 °C hingga menghitam dan berubah menjadi arang. Arang hasil pembakaran kemudian di haluskan hingga berukuran 100 nm (dengan ayakan *mesh 200*). 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 glukosa murni (Qinhuangdao) hingga perbandingan antara HCl : rGO : Glukosa : $\text{FeCl}_3 = 1 : 1 : 1 : 1$ yang diberi label R11. Kemudian larutan di exfoliasi secara mekanik menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 6 jam. Hasil yang didapatkan dikeringkan dengan metode *hot drying* menggunakan *hot plate* dengan suhu 150°C hingga menjadi *slurry*. *Slurry* kemudian dicetak tablet dengan diameter 13 mm dan berat 0.5 gram. Pelet kemudian dilapisi dengan pasta perak (Merck) hingga seluruh permukaan terlapisi. Selain elektroda komposit Fe_3O_4 /glukosa/rGO juga digunakan sampel berupa elektroda rGO tempurung kelapa (rGO) murni, variasi perbandingan pengenceran HCl 10:1:1:1 (R101) dan 5:1:1:1 (R51), dan variasi perbandingan komposisi 1:1:1:2 (R12) dan 2:2:2:1 (R21)

3.3 Karakterisasi Material

Karakterisasi Material yang dilakukan pada sampel meliputi :

a. *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan C,H,O,N,S Analysis

Pengujian XRF tipe *PANalytical* dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur – unsur yang terkandung dalam material. Pengujian C,H,O,N,S dengan menggunakan metode ASTM D 5373-2002 dan ASTM D 3177-2002. Dalam penelitian ini pengujian XRF dilakukan pada sampel arang batok kelapa.

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 $0^\circ - 90^\circ$ menggunakan *Philips X'Pert MPD (Multi Purpose Diffractometer)* dengan radiasi $\text{Cu-K}\alpha$ di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS Surabaya. Pola radiasi difraksi yang didapatkan kemudian dianalisis secara kualitatif menggunakan perangkat lunak MATCH!.

c. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Pengujian *Scanning Electron Microscopy (SEM)* 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 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 FMIPA 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)

m = massa elektroda (g)

v = *scan rate* (V/s)

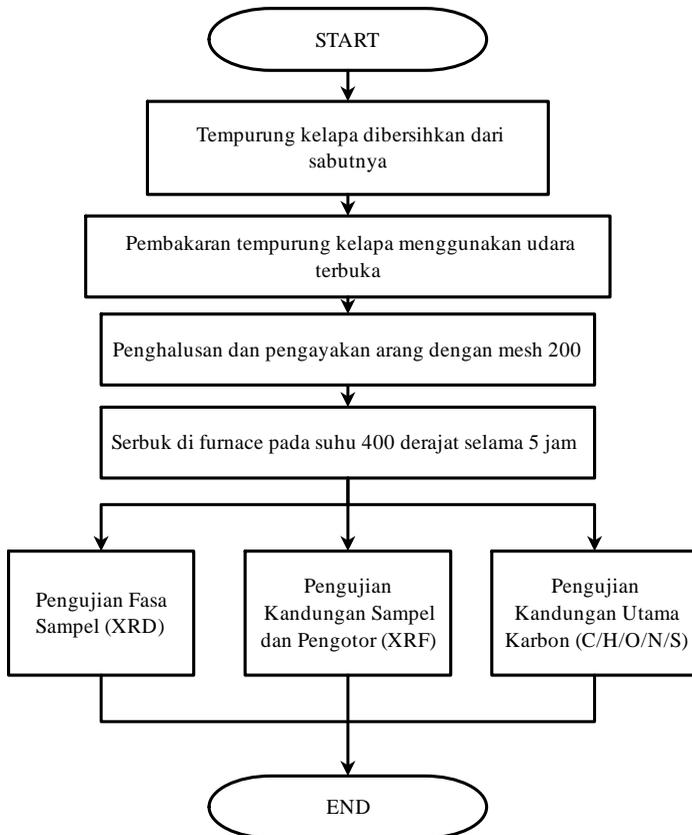
$I(V)$ = persamaan respon arus
terhadap tegangan

V_2 = *Potensial window* atas (V)

V_1 = *Potensial window* bawah
(V)

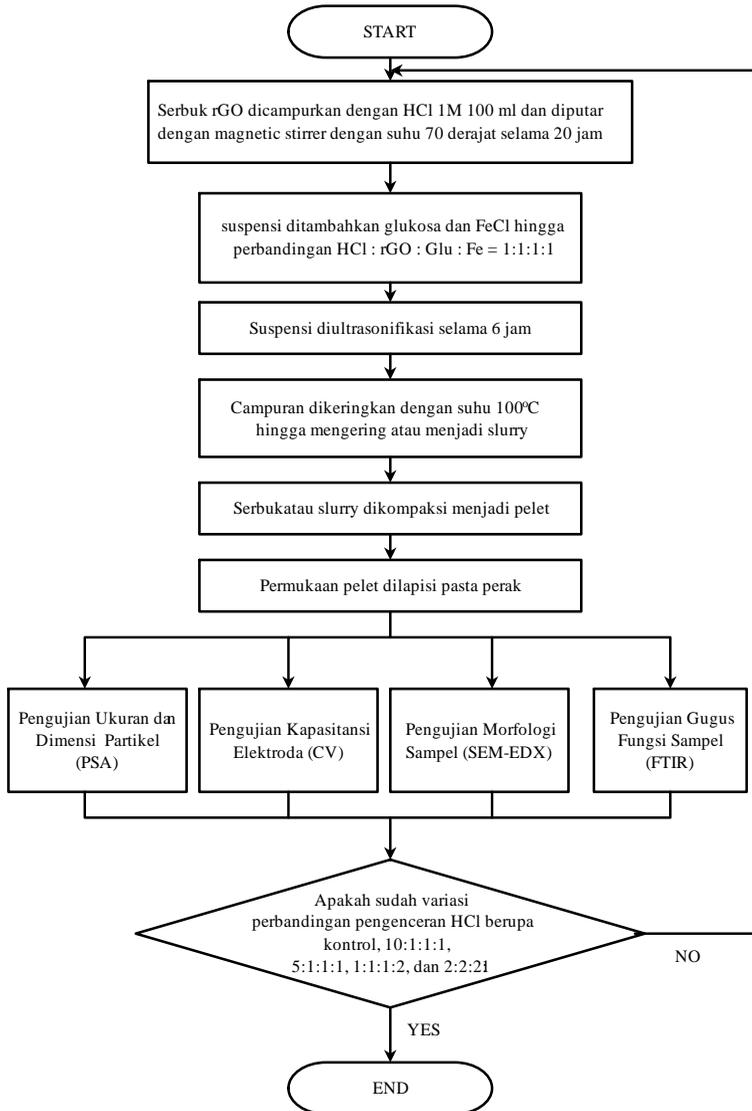
3.4 Diagram Alir Penelitian

3.4.1 Sintesis rGO Tempurung Kelapa



Gambar 3.1 Diagram Alir Produksi rGO Tempurung kelapa

3.4.2 Sintesis Elektroda Superkapasitor



Gambar 3.2 Diagram Alir pembuatan elektroda

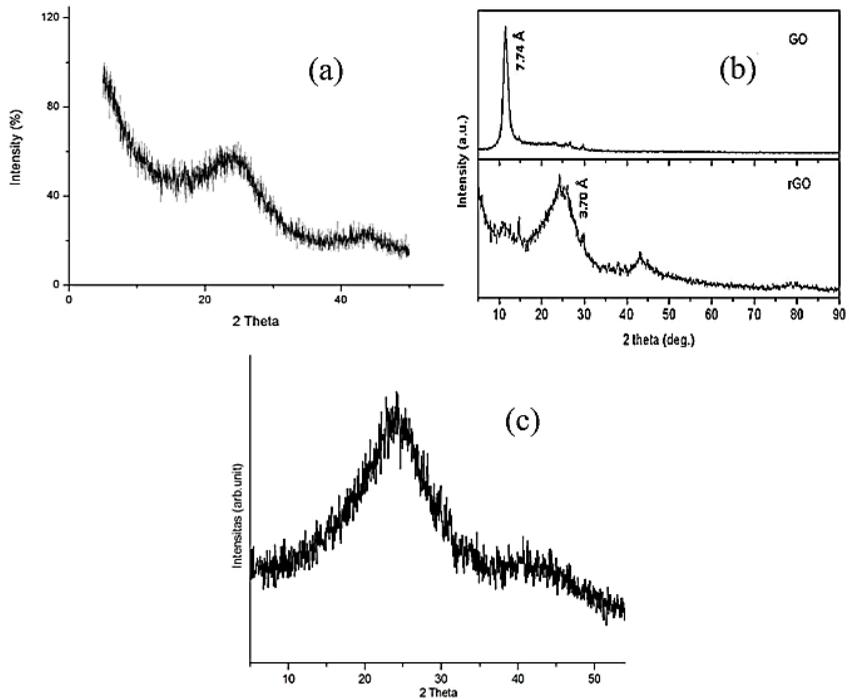
BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Struktur rGO

Grafena Oksida Tereduksi (*Reduced Graphene Oxide*, rGO) pada penelitian ini diproduksi dari hasil pembakaran tempurung kelapa tua. Analisis struktur dan fasa dari rGO ini menggunakan alat *X-Ray Diffraction* (XRD). Hasil pembakaran tempurung kelapa tua kemudian ditumbuk halus dan dipanaskan dalam *furnace* dengan suhu 400°C selama 5 jam. Serbuk bahan dasar ini menghasilkan pola difraksi seperti yang terlihat pada Gambar 4.1(a). Pola yang dihasilkan menggambarkan struktur amorf dengan banyaknya jumlah puncak kecil yang saling bertumpuk. Namun, terdapat dua buah daerah yang menyerupai puncak lebar yang dihasilkan yaitu pada sudut 2θ di 24° dan 44°.

Munculnya dua puncak dari pola difraksi yang dihasilkan menggambarkan bahwa telah terbentuk fasa rGO karena memiliki puncak pada 24° dan puncak pada sudut 44°. Hal ini sesuai dengan pencocokan data difraksi secara kualitatif dari hasil penelitian Fu pada tahun 2013 yang menghasilkan rGO dari grafit menggunakan metode Hummer juga memiliki 2 puncak spesifik pada sudut difraksi 24° dan 44° seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 (b). Selain itu pola difraksi yang dihasilkan juga sesuai dengan penelitian terdahulu dalam topik rGO dari tempurung kelapa tua yang ditulis oleh Nugraheni, et al pada tahun 2015 seperti yang ada pada Gambar 4.1(c).



Gambar 4.1 Pola Difraksi (a) bahan dasar RGO, (b) rGO penelitian Fu, dan (c) rGO penelitian Nugraheni

4.2 Analisis Komposisi rGO

Serbuk hasil pembakaran tempurung kelapa tua perlu dianalisis komposisi fasa penyusunya. Untuk analisis komposisi digunakan dua buah alat yang hasilnya akan dibandingkan. Untuk menganalisis fasa pengotor dari bahan dasar elektroda, digunakan alat *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang dapat menganalisis unsur Natrium hingga Uranium. Hasil pengujian menunjukkan ada 11 unsur pengotor yang ditemukan. Namun pada pengujian menggunakan XRF belum dapat mengukur persentase kandungan

utama rGO yang berupa C, H, O, N, dan S karena memiliki nomor atom yang lebih rendah dibandingkan dengan Natrium. Sehingga hanya didapatkan material pengotor yang terdeteksi.

Pada Tabel 4.1, terlihat bahwa persentase pengotor terbanyak adalah kalium yang mendominasi serbuk rGO. Kalium banyak ditemukan pada saat ekstraksi hasil pembakaran tumbuhan berkayu maupun yang memiliki banyak lignin (Paneru et al., 2016), Tempurung kelapa memiliki banyak lignin, sehingga merupakan hal yang umum apabila ditemukan banyak kandungan kalium dari serbuk rGO yang dihasilkan. Pengotor lain seperti Sulfur dan Fosfor merupakan material alam yang juga banyak ditemukan pada material alam seperti batok kelapa (Campbell, 2006)

Untuk menguji persentase kandungan utama dari serbuk hasil pembakaran digunakan dengan standar metode ASTM D5373 untuk pengujian kandungan Karbon (C), Hidrogen (H), dan Nitrogen (N). Sedangkan untuk pengujian kandungan Sulfur digunakan standar metode ASTM D3177 serta untuk pengujian kadar oksigen digunakan dengan metode *balancing*.

Sehingga dengan membandingkan seluruh persentase hasil pengujian XRF dan pengujian CHONS maka didapatkan persentase kadar relatif seperti yang terlihat pada Tabel 4.1. Terlihat bahwasanya kadar terbesar dari sampel serbuk rGO yang digunakan sebagai bahan dasar elektroda superkapasitor adalah karbon hingga 80% dan Oksigen yang hanya 9% saja. Pada umumnya karbon pada material tambang maupun alam memiliki kadar oksigen hingga 20% (Wachid et al., 2014). Hal ini mengindikasikan bahwa sampel serbuk yang telah diproses merupakan rGO karena hanya memiliki sedikit kadar Oksigen dibandingkan dengan unsur utama lainnya. Pengotor yang didapatkan yang memiliki sifat magnetik dan elektrik seperti Besi

(Fe-0,04%), Tembaga (Cu-0,046%), serta Aluminium (Al-0.007%) memiliki kadar yang amat kecil dibandingkan dengan material utama karbon. Maka dapat dikatakan sifat magnetik dan elektrik yang ditunjukkan oleh sampel pada pengujian berikutnya adalah murni karena sifat dari rGO sendiri.

Tabel 4. 1 Komposisi Sampel rGO dari Tempurung Kelapa menurut data *XRF* dan *CHONS Analyzer*

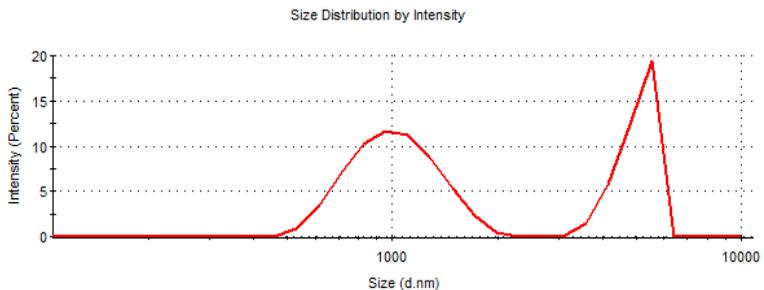
No.	Unsur Penyusun	Persentase
1.	C	81,48
2.	O	9,02
3.	H	7,61
4.	K	0,875
5.	N	0,532
6.	Cu	0,046
7.	Fe	0,040
8.	Si	0,030
9.	Ba	0,025
10.	P	0,023
11.	Zn	0,013
12.	S	0,012
13.	Rb	0,010
14.	Re	0,008
15.	Al	0,007
16.	Ti	0,003

4.3 Analisis Distribusi Ukuran Partikel Serbuk Elektroda

Serbuk rGO hasil pembakaran batok kelapa tua diuji ukuran partikelnya menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA). Didapatkan hasil bahwasanya ukuran serbuk yang digunakan

masih cukup besar hingga di atas 1000 nm sesuai dengan Gambar 4.2. Hal ini mengindikasikan bahwa partikel masih berukuran besar dan memiliki ketebalan cukup besar hingga ribuan nanometer. Sehingga perlu diberi perlakuan penyayatan baik secara mekanik dan menggunakan bahan asam.

Serbuk rGO kemudian dicampurkan dengan bahan lain seperti larutan HCL, Glukosa, dan Oksida Besi (Fe_3O_4). Larutan HCl berguna untuk mereduksi ketebalan dari rGO dengan cara menyisip diantar lapisan dari rGO. Karena ukuran asam yang cukup besar dibandingkan dengan jarak antar lapisan rGO, maka asam yang tersisip akan melebarkan jarak antar lapisan dan melemahkan ikatan *van der Waals* antara kedua lapisan. Asam dapat menyisip di antara kedua lapisan rGO dengan cara mengaduk larutan asam (dalam penelitian ini menggunakan HCl) dengan rGO dan memberi perlakuan panas hingga 80°C . Sehingga antar lapisan rGO akan melebar dan dapat disisipkan asam di antaranya.



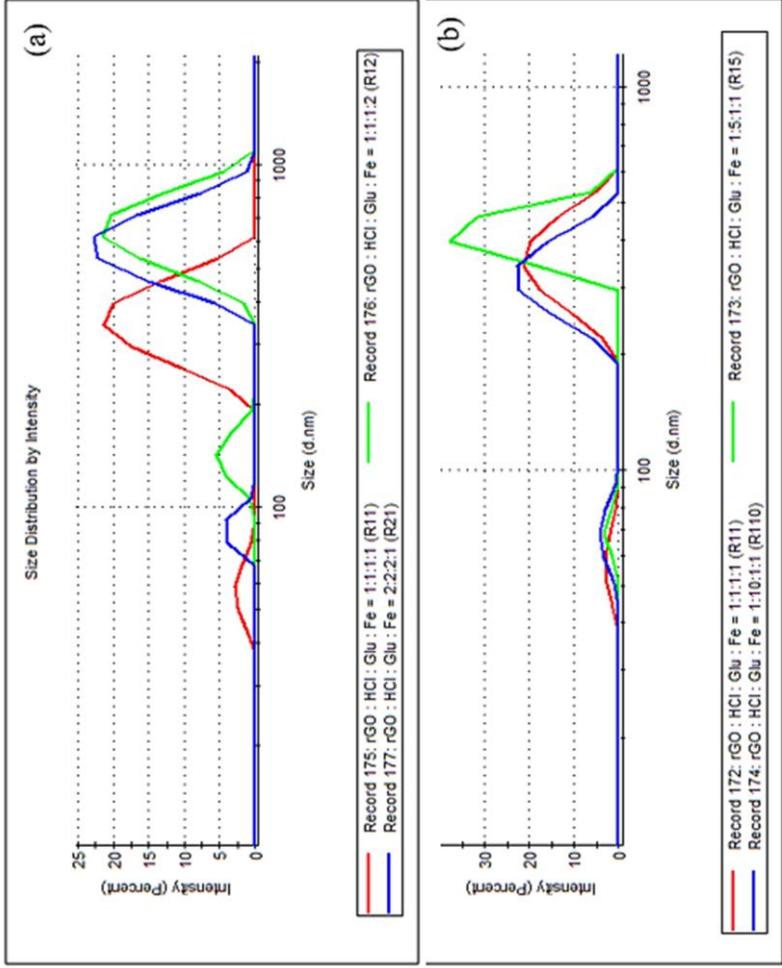
Gambar 4. 2 Hasil pengukuran PSA untuk serbuk rGO tanpa perlakuan

Kemudian larutan diberi perlakuan mekanik dengan memberi gelombang ultrasonik menggunakan teknik sonikasi. Pada teknik sonikasi ini digunakan *ultrasonic cleaner* dengan daya 600 Watt. Sehingga diharapkan dengan diberinya gelombang

ultrasonik, partikel rGO akan bergetar dan ikatan *van der Waals* yang telah lemah akibat disisipi oleh asam akan terlepas. Sehingga mengakibatkan lapisan rGO yang lebih tipis dibandingkan sebelumnya. Proses ini dapat disebut sebagai proses penyayatan (*exfoliation*) mikro mekanik-kimia.

Sampel elektroda yang dibuat pada penelitian ini terdapat beberapa variasi. Variasi pertama menggunakan perbandingan pengenceran HCl terhadap rGO yaitu rGO:HCl:Glu:Fe = 1:1:1:1 (R11) ; 1:5:1:1 (R15) ; dan 1:10:1:1 (R110). Sedangkan variasi kedua digunakan untuk membandingkan pengaruh massa dari Fe. Variasi yang digunakan ialah rGO:HCl:Glu:Fe = 1:1:1:2 (R12) dan 2:2:2:1 (R21). Setiap sampel yang digunakan diuji menggunakan PSA dan menghasilkan data seperti yang terlihat pada Gambar 4.3.

Hasil pengujian PSA yang dihasilkan terlihat bahwa semua variasi telah memiliki dua puncak dan telah tereduksi cukup besar dibandingkan serbuk rGO awal yang tanpa perlakuan seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 untuk serbuk rGO tanpa perlakuan dan Gambar 4.3 untuk serbuk yang telah dicampurkan dengan bahan lain. Hampir seluruh material memiliki dua buah puncak, dengan puncak pertama di bawah 100 nm dengan nilai berkisar antara 50 nm hingga 80 nm. Puncak pertama ini hampir seluruhnya memiliki intensitas yang cukup rendah dengan nilai di bawah 10%. Puncak kedua pada tiap variasi berada pada ukuran di atas 100 nm atau berkisar antara 100 nm hingga 300 nm. Puncak kedua ini memiliki intensitas yang lebih tinggi dibandingkan puncak yang lain.



Gambar 4. 3 Hasil PSA untuk (a) variasi massa Fe dan (b) variasi pengenceran HCl

Pola pengukuran PSA yang dihasilkan hampir sama pada setiap variasi. Alat PSA menggunakan prinsip *Dynamic Light Scattering* (DLS) dalam proses pengukuran partikel. Larutan elektroda yang hendak diuji ditembak oleh sinar laser sehingga apabila terkena partikel maka gelombang cahaya akan terhambur dan bergerak. Sehingga sinar laser yang terhambur akan berfluktuasi nilainya berdasarkan ukuran partikel. Saat ukuran partikel besar, maka waktu korelasi yang dihitung akan semakin lambat dan mengindikasikan permukaan yang tertembak memiliki luas yang besar. Sedangkan saat partikel berukuran kecil, maka partikel akan bergerak cepat dan waktu korelasi yang terukur semakin cepat. Sehingga menurut gerak partikel pada larutan yang menggunakan prinsip gerak Brownian, maka terjadi fluktuasi waktu korelasi yang dapat terukur. Sehingga waktu korelasi yang dihasilkan dapat dibentuk dalam grafik intensitas-ukuran partikel. Sehingga dari grafik pada Gambar 4.3 di atas dapat di analisis bentuk dari partikel rGO.

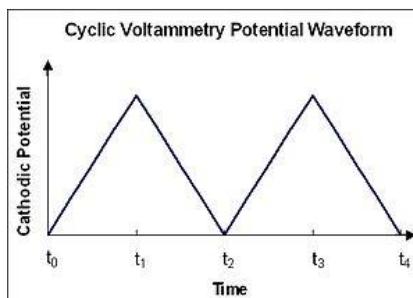
Sebagai contoh pada Gambar 4.3 (a) untuk variasi R11 terdapat dua buah puncak. Puncak pertama memiliki ukuran partikel 50 nm dengan intensitas 4,4% dan puncak kedua memiliki ukuran 200 nm dengan intensitas 95,6%. Hal ini mengindikasikan bahwa puncak yang lebih kecil merupakan ketebalan dari serbuk rGO yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan probabilitas tertembaknya luas dari serbuk rGO lebih besar dibandingkan dengan ketebalan dari lapisan rGO. Sehingga dapat dikatakan sampel R11 memiliki ketebalan berkisar 50 nm dan luas permukaan atas sebesar 200 nm. Namun ada kemungkinan lain, partikel memiliki ketebalan dan luas permukaan atas sebesar 50 nm.

Sehingga menurut analisis tersebut rGO telah tereduksi ukurannya. Dengan tereduksinya ketebalan serbuk rGO maka hal

ini dapat memperluas permukaan total dari serbuk. Sehingga diharapkan dapat meningkatkan kapasitansi dari elektroda.

4.4 Analisis Kapasitansi Spesifik Elektroda Superkapasitor

Pellet elektroda yang telah jadi kemudian dilapisi pasta perak agar persebaran arus ketika pengujian merata ke seluruh permukaan. Pengujian kapasitansi spesifik digunakan alat *Cyclic Voltammetry* (CV). Alat ini menggunakan 3 buah elektroda berupa elektroda referensi (*reference electrode*) berupa Perak (Ag), elektroda penghitung (*counting electrode*) berupa Perak (Ag), dan elektroda uji (*working electrode*) yang merupakan sampel elektroda superkapasitor. Pada pengujian ini digunakan larutan KOH 6M. Elektroda uji diberikan tegangan yang berubah-ubah menurut bentuk gelombang (*waveform*) seperti pada Gambar 4.5. Pengukuran tegangan dilakukan antara elektroda uji dan elektroda referensi, sedangkan arus diukur diantara elektroda uji dan elektroda penghitung (kla29@cam.ac.uk, 2015). Sehingga dapat dibentuk grafik CV (*CV trace*) berupa arus-tegangan. *Scan rate* yang digunakan sebesar 50 mV/s agar tidak terjadi resistansi besar saat pengukuran.



Gambar 4. 4 Bentuk gelombang tegangan keluaran saat pengujian CV

Hasil pengukuran CV dapat dihitung nilai kapasitansnya menggunakan Persamaan 3.1. Menurut persamaan tersebut apabila

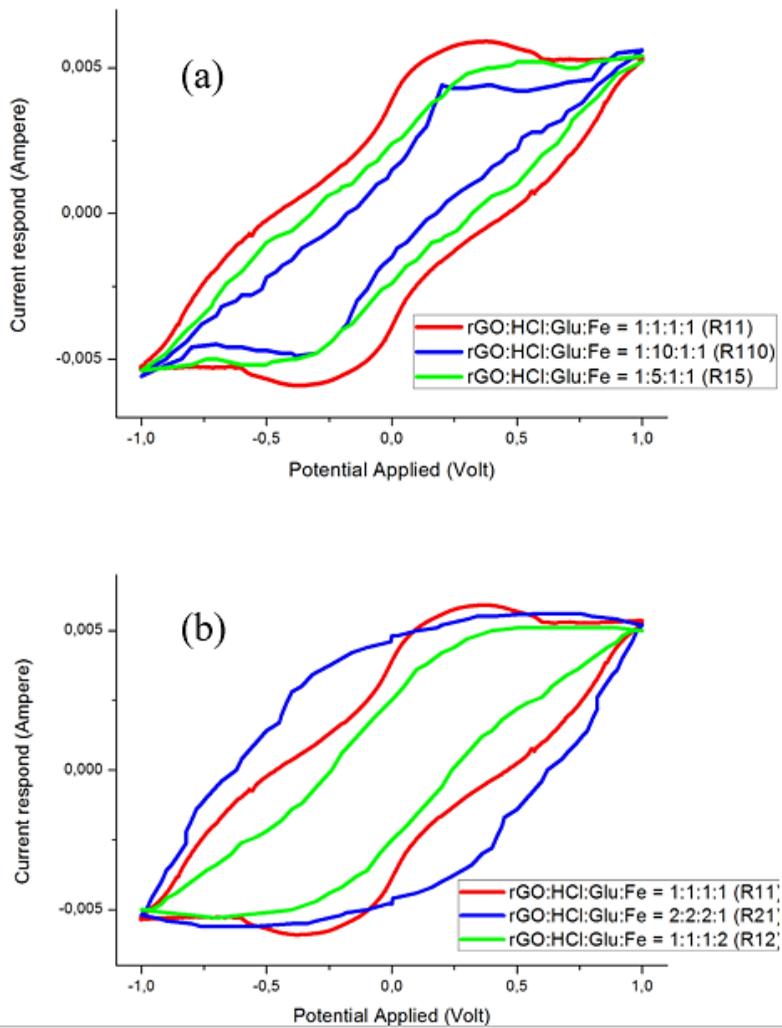
luasan yang dilingkupi oleh plot CV yang dihasilkan maka semakin besar pula kapasitansi yang dihasilkan. Hal ini terjadi apabila dibuat massa elektroda dan *scan rate* yang digunakan dibuat konstan. Hasil pengukuran CV dari sampel yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.5 (a) dan (b).

Pada Gambar 4.5(a) untuk elektroda dengan variasi pengenceran HCl secara kualitatif ada perbedaan luasan terhadap variasi yang diberikan. Terlihat bahwasanya terjadi pengurangan luasan grafik seiring dengan pengenceran konsentrasi HCl terhadap rGO. Semakin pekat HCl luasan diagram CV juga ikut berkurang. Hal ini menandakan semakin pekat HCl maka asam tidak lagi efektif ketika menyisip di antara lapisan rGO. Hal ini sesuai dengan pengukuran ukuran partikel dengan PSA yang memperlihatkan ketebalan untuk variasi sampel R11 sebesar 57,88 nm. Sedangkan untuk variasi sampel R15 dan R110 memiliki ketebalan lebih besar secara berturut-turut 68 nm dan 69,8 nm. Hal ini menandakan bahwa semakin tipis lapisan rGO maka nilai kapasitansi juga semakin meningkat yang mana sesuai dengan teori tentang kapasitansi. Pada elektroda dengan bahan dasar karbon ini pada umumnya tidak terjadi reaksi faraday yang mana dapat terlihat pada Gambar 4.5(a) sebagian besar terdapat pada kuadran I dan III. Namun tetap terdapat luasan yang ada pada kuadran II dan IV yang mengindikasikan terjadi reaksi faraday yang berasal dari oksida besi (Fe_3O_4) yang ditambahkan pada reaksi sampel. Namun luasan pada kuadran II dan IV pada umumnya sama besar perbandingannya. Hal ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Sharma dan Bhatti pada tahun 2012 yang menyatakan bahwa luasan pada kuadran I dan III mengindikasikan reaksi non faraday dan luasan pada kuadran II dan IV mengindikasikan reaksi faraday karena oksida logam (Sharma and Bhatti, 2010). Nilai kapasitansi untuk tiap variasi

dapat dilihat pada Tabel 4.2. Nilai kapasitansi yang didapat juga sesuai dengan luasan yang dilingkupi.

Pada variasi massa Fe terlihat terdapat perbedaan nilai kapasitansi. Ketika elektroda ditambahkan oksida logam lebih banyak, nilai kapasitansi yang didapat menurun. Namun ketika konsentrasi massa oksida besi dikurangi nilai kapasitansi meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin banyak jumlah oksida besi yang ditambahkan kestabilan elektroda berkurang dan lebih efektif ketika perbandingan oksida besi dengan bahan lain ialah 1:2. Hal ini terlihat reaksi faraday atau oksidasi-reduksi pada variasi sampel R21 lebih banyak terjadi dibandingkan dengan variasi lainnya.

Secara kualitatif dapat terlihat bahwasanya luasan terluas hasil grafik CV dimiliki oleh variasi sampel R21 dengan perbandingan rGO : HCl : Glu : Fe = 2:2:2:1. Kemudian luasan terbesar kedua dimiliki oleh variasi sampel R11 dengan perbandingan rGO : HCl : Glu : Fe = 1:1:1:1. Sehingga nilai kapasitansi terbesar untuk variasi penambahan massa oksida besi adalah variasi sampel R21 sebesar 99 F/g dan untuk variasi pengenceran HCl kapasitansi spesifik tertinggi dimiliki oleh variasi R11 sebesar 84 F/g. Menurut penelitian lain komposisi rGO/Glukosa/Fe nilai kapasitansi spesifik yang didapatkan lebih besar hingga 243 F/g (Tabel 2.1). Hal ini dapat terjadi karena lapisan rGO yang dihasilkan juga hanya 8 nm. Maka nilai kapasitansi yang didapatkan pada penelitian ini masih sesuai dengan pola yang ada pada penelitian ini. Namun terdapat perbedaan bahan dasar antara penelitian ini dengan penelitian oleh Li tahun 2016 ialah bahan baku rGO yang digunakan. Bahan baku rGO yang digunakan oleh Li menggunakan grafit tambang yang tak ramah lingkungan.



Gambar 4. 5 Grafik CV untuk (a) variasi pengenceran HCl dan (b) variasi massa

Sedangkan pada penelitian ini menggunakan bahan baku tempurung kelapa yang ramah lingkungan. Sehingga dapat dikatakan bahwa elektroda yang dihasilkan pada penelitian ini sebanding dan dapat diimplementasikan pada skala yang lebih besar. Namun perlu dicari cara lebih lanjut untuk menipiskan kembali bahan baku rGO agar nilai kapasitansi yang dihasilkan lebih besar.

Tabel 4. 2 Hasil perhitungan kapasitansi spesifik elektroda superkapasitor

Nama Sampel	Perbandingan rGO : HCl : Glu : Fe	Kapasitansi Spesifik (F/g)	Rapat Energi (W/g)
R11	1:1:1:1	84,0	1,136
R15	1:5:1:1	39,9	0,539
R110	1:10:1:1	30,4	0,411
R12	1:1:1:2	28,8	0,389
R21	2:2:2:1	99,5	1,345

Apabila dibandingkan dengan penelitian elektroda superkapasitor dengan bahan dasar rGO tempurung kelapa tua sebelumnya yang dilakukan oleh Taufiq pada tahun 2016 terdapat peningkatan nilai kapasitansi. Hal ini disebabkan adanya perlakuan tambahan yang diberikan pada rGO pada penelitian ini, yaitu dengan perlakuan penyayatan mikro mekanik-kimia serta penambahan unsur Fe. Penelitian sebelumnya (Tabel 2.1) menunjukkan bahwa nilai kapasitansinya hanya berkisar 4-11 F/g, namun pada penelitian ini meningkat hingga 99 F/g. Sehingga dapat dikatakan metode yang digunakan cukup efektif namun diperlukan pengembangan lebih lanjut.

Kapasitansi elektroda mengalami penurunan seiring dengan penambahan konsentrasi HCl pada elektroda pada saat

proses penyayatan kimia. Hal ini diasumsikan dapat terjadi dikarenakan asam tidak efektif menyisip di antara lapisan rGO dan dimungkin beraglomerasi di luar lapisan rGO. Peristiwa ini sesuai dengan penelitian sebelumnya dari Nugraheni pada tahun 2016 yang mengalami kasus serupa. Asam yang terlalu pekat mengakibatkan kerusakan lapisan rGO sehingga tereduksi ukurannya semakin kecil dan bukan membentuk lapisan (*sheets*) seperti yang diharapkan.

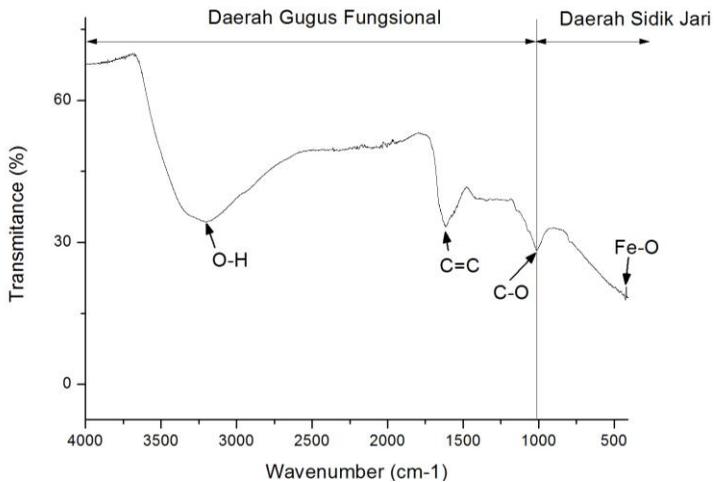
Dari Tabel 4.2, juga dapat ditelaah pengaruh penambahan dan pengurangan konsentrasi oksida logam Fe. Dengan memperbanyak konsentrasi Fe terhadap rGO kapasitansinya menurun. Sedangkan saat dikurangi setengah konsentrasinya, elektroda memiliki kapasitansi paling optimum.

Pada superkapasitor jenis EDLC, umumnya memiliki nilai rapat energi pada rentang 0,3 hingga 1,3 W/g (Bard and Faulkner, 2001). Rapat energi elektroda superkapasitor yang dihasilkan sesuai dengan rentang yang dimiliki oleh superkapasitor. Rapat energi terbesar dimiliki oleh variasi R21 yang menghasilkan rapat energi hingga 1,345 W/g. Sehingga dapat dikatakan bahwa 1 gram elektroda dengan variasi tersebut dapat menyimpan energi sebesar 1,345 Watt.

4.5 Analisis Ikatan Molekul dan Morfologi Elektroda

Analisis gugus fungsi dari elektroda dibutuhkan untuk mengetahui ikatan molekul yang ada pada serbuk. Analisis gugus fungsi menggunakan alat *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Dari hasil pengukuran FTIR akan didapatkan spektrum yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.6. Pada Gambar 4.6 terlihat spektrum transmitansi dari sampel dan terdapat 4 buah puncak gugus fungsi. Terlihat tiga puncak dengan transmitansi sedang pada panjang gelombang $3192,2\text{ cm}^{-1}$, $1614,61\text{ cm}^{-1}$, dan $1012,19$

cm^{-1} . Sedangkan terdapat satu puncak transmisi rendah pada panjang gelombang $452,02 \text{ cm}^{-1}$.



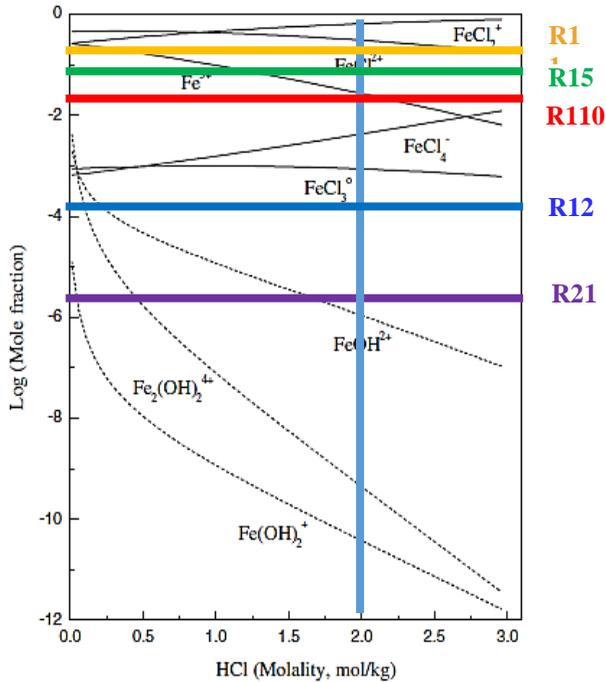
Gambar 4. 6 Spektrum transmisi hasil pengujian FTIR

Hasil pola grafik FTIR dari seluruh variasi secara kualitatif ditunjukkan bahwa teridentifikasi ikatan-ikatan molekul utama yang dimiliki oleh rGO yaitu berupa ikatan C=C dan O-H. Kedua ikatan tersebut saling berikatan dan menyebabkan terbentuknya struktur heksagonal atom karbon yang tersusun menjadi lapisan rGO. Ikatan C=C menjadi struktur dasar dari rGO yang saling berikatan dan membentuk heksagonal di mana ikatan rangkap tersebut merupakan ikatan kovalen yang terbentuk dari hibridisasi sp^3 menjadi sp^2 dan sulit untuk terputus dikarenakan memiliki energi ikatan yang besar. Munculnya atom-atom oksigen dan hidrogen disebabkan adanya proses oksidasi selama pemanasan yang mengalami reduksi jumlah ikatan akibat adanya proses penyayatan. Banyaknya ikatan - ikatan yang muncul pada

penelitian sebelumnya (Gambar 2.5) menunjukkan masih banyaknya atom-atom oksigen dan hidrogen berikatan dengan atom karbon jika dibandingkan dengan hasil pola FTIR pada Gambar 4.6. Hal ini dikarenakan adanya proses pengadukan dalam waktu lama dengan penambahan suhu sehingga memberi tambahan energi lebih untuk dapat memutus energi ikatan dari gugus karboksil (C-O) dan hidroksil (O-H) (Zhang and Zhao, 2009). Sehingga pada bilangan gelombang sekitar 3400 cm^{-1} tidak muncul gugus hidroksil (O-H) seperti pada Gambar 2.5.

Berdasarkan analisis pada Gambar 4.7, tidak terjadi ikatan C-Cl atau C-Fe yang menandakan bahwa HCl yang berperan sebagai larutan asam dalam proses penyayatan tidak tertinggal dalam elektroda. Sehingga dapat dikatakan bahwa Cl telah menguap dan habis. Sedangkan terdapat ikatan molekul Fe-O yang merupakan gugus yang berasal dari hasil penambahan ion Fe^{3+} . Selain itu tidak terjadi ikatan baru antara C dengan Fe yang menandakan bahwa hanya terjadi pengaitan Fe^{3+} saja yang sesuai dengan tujuan awal. Sehingga pada saat proses pengisian kapasitor dapat terjadi reaksi yang bersamaan namun tidak saling mempengaruhi.

Penambahan Fe^{3+} yang berasal dari FeCl_3 pada elektroda dengan menggunakan larutan HCl akan menghasilkan reaksi tersendiri dalam proses pembuatan elektroda. Berdasarkan jurnal yang dikemukakan oleh Seung Lee pada tahun 2003 yang memodelkan hasil pembuatan larutan $\text{FeCl}_3\text{-HCl-H}_2\text{O}$ (Seung Lee et al., 2003). Permodelan tersebut sesuai dengan proses pencampuran yang ada pada pembuatan elektroda superkapasitor ini.

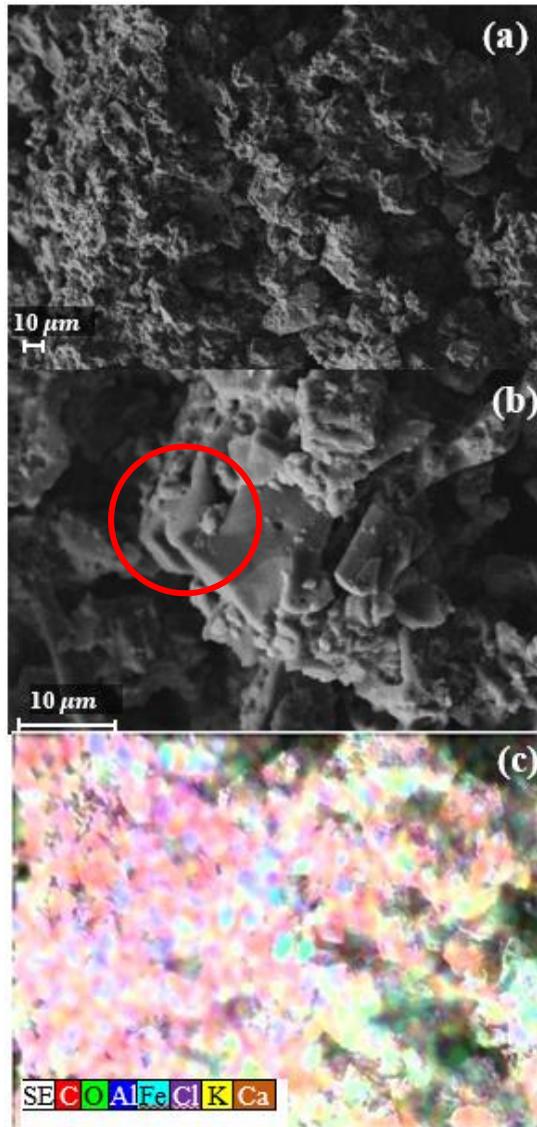


Gambar 4. 7 Distribusi ion Fe pada pemodelan kimia FeCl₃-HCl-H₂O pada suhu 75 °C (Seung Lee, 2003)

Pada proses pembuatan elektroda superkapasitor FeCl₃ dilarutkan dalam larutan HCl dengan molalitas 2,5 mol/kg. Sedangkan fraksi mol zat terlarut atau ion Fe³⁺ secara logaritmik berkisar pada nilai -5,75. Sehingga menurut grafik distribusi hasil pemodelan oleh Seung Lee pada gambar 4.7 didapatkan fraksi dengan kemungkinan terbesar berupa FeOH²⁺. Sehingga hal ini mengindikasikan hasil pengujian FTIR pada panjang gelombang 492,05 cm⁻¹ yang berupa Fe-O adalah benar. Namun secara umum telah terjadi pengaitan ion Fe³⁺ pada elektroda yang dihasilkan. Namun perlu diselidiki lebih lanjut agar mengetahui molekul yang sebenarnya dalam proses pembuatan elektroda superkapasitor ini

Analisis morfologi dari elektroda kami mengambil sampel elektroda dengan nilai kapasitansi terbesar yaitu sampel R21. Untuk analisis digunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang ditambah *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) untuk pemetaan unsur yang ada pada sampel. Terdapat dua buah perbesaran yang digunakan yaitu 1000x dan 5000x. Hasil SEM-EDX dapat dilihat pada Gambar 4.7 (a), (b), dan (c).

Pada Gambar 4.7(b) terlihat lapisan rGO yang telah tipis dan diselubungi oleh partikel lain di sekitarnya. Apabila diperkirakan maka ketebalannya berkisar pada 0,2 μm . Diperkirakan bahwasanya partikel kecil di sekitar lapisan rGO tersebut merupakan partikel Glukosa yang menyelubungi dan menyisip di antara lapisan. Namun, masih banyak bagian yang berupa bongkahan rGO yang masih perlu disayat lebih lanjut. Hal ini membuktikan pengukuran PSA sebelumnya yang menandakan bahwa ada dua dimensi, yaitu dimensi ketebalan dan diameter atau panjang bongkahan yang terlihat dari 2 puncak PSA yang terbentuk. Maka dapat disimpulkan bahwa partikel elektroda superkapasitor yang dihasilkan memiliki bentuk umum bongkahan (*flakes*) yang sudah menyerupai bentuk ideal graphene yang berbentuk lapisan (*sheets*). Pada Gambar 4.7(c) yang menunjukkan pemetaan unsur dari Gambar 4.7(a) terlihat bahwa unsur Besi (Fe) yang berwarna biru tosca telah tersebar sempurna pada elektroda. Selain itu tidak terbentuk ikatan baru antara karbon dan besi yang terlihat tidak adanya warna lain di antara besi (Biru Tosca) dengan karbon (Merah). Selain itu terlihat karbon telah tersebar sempurna di seluruh serbuk yang menandakan bahwa serbuk memiliki persebaran yang baik dan metode sintesis yang digunakan cocok untuk produksi skala besar. Selain telah tersebar sempurna partikel besi yang digunakan, partikel besi dimungkinkan hanya mengait pada rGO yang mana sesuai dengan tujuan awal.



Gambar 4. 8 Morfologi elektroda variasi R21 dengan (a) SEM perbesaran 1000x, (b) SEM perbesaran 5000x, dan (c) EDX

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- a. Pengaruh variasi pengenceran HCl terhadap nilai kapasitansi yang didapatkan semakin besar perbandingan antara HCl dan rGO maka nilai kapasitansi spesifik akan menurun sesuai dengan pengujian *Cyclic Voltametry* dengan asumsi jumlah asam yang menyisip tidak dapat efektif.
- b. Pengaruh variasi komposisi Fe terhadap nilai kapasitansi menunjukkan bahwa perbandingan yang tepat ialah rGO : HCl : Glukosa : Fe = 2:2:2:1 sebesar 99 F/g dengan rapat energi 1,34 W/g. Semakin banyak konsentrasi Fe terhadap rGO kapasitansinya semakin menurun.
- c. Proses penyayatan menggunakan metode mikro mekanik-kimia terbukti dapat menurunkan ketebalan rGO dan meningkatkan nilai kapasitansi spesifik pada superkapasitor, serta dapat mereduksi oksigen pada rGO.
- d. Penambahan unsur Fe dapat meningkatkan nilai kapasitansi superkapasitor melalui tambahan reaksi reduksi-oksidasi.

5.2 Saran

Diharapkan pada penelitian selanjutnya perlu diselidiki luas permukaan elektroda yang dihasilkan serta kemampuan daur hidup dari elektroda saat proses pengisian-dan pelepasan elektron (*charge-discharge*) agar didapatkan data yang lebih komprehensif. Selain itu perlu diteliti lebih lanjut metode yang lebih efektif dalam membuat rGO tempurung kelapa tua yang memiliki ketebalan lebih tipis.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hazmi, F.S., Al-Harbi, G.H., Beall, G.W., Al-Ghamdi, A.A., Obaid, A.Y., Mahmoud, W.E., 2015. Synthesis and structure of high quality graphene prepared via solvothermal exfoliation of intercalated graphite flakes. *Superlattices Microstruct.* 86, 270–274. doi:10.1016/j.spmi.2015.07.067
- Atkins, P., 2005. *Physical Chemistry*, 9th ed. Oxford University Press, England.
- Bard, A.J., Faulkner, L.R., 2001. *Electrochemical Methods : Fundamentals and Application* 2nd edition, 2nd ed. John Wiley & Sons inc, United States.
- Bhattacharya, K., Deb, P., 2015. Hybrid nanostructured C-dot decorated Fe₃O₄ electrode materials for superior electrochemical energy storage performance. *Dalton Trans* 44, 9221–9229. doi:10.1039/C5DT00296F
- Campbell, N.A., 2006. *Biology : concepts and connections*, 11th ed. The Benjamin/Cummings, USA.
- Geim, A.K., Novoselov, K.S., 2015. *A Collection of Reviews from Nature Journals : The Rise of Graphene*.
- Ghasemi, S., Ahmadi, F., 2015. Effect of surfactant on the electrochemical performance of graphene/iron oxide electrode for supercapacitor. *J. Power Sources* 289, 129–137. doi:10.1016/j.jpowsour.2015.04.159
- 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. doi:10.1016/j.matchemphys.2015.01.005
- Hadjipaschalis, I., Poullikkas, A., Efthimiou, V., 2009. Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 13, 1513–1522. doi:10.1016/j.rser.2008.09.028

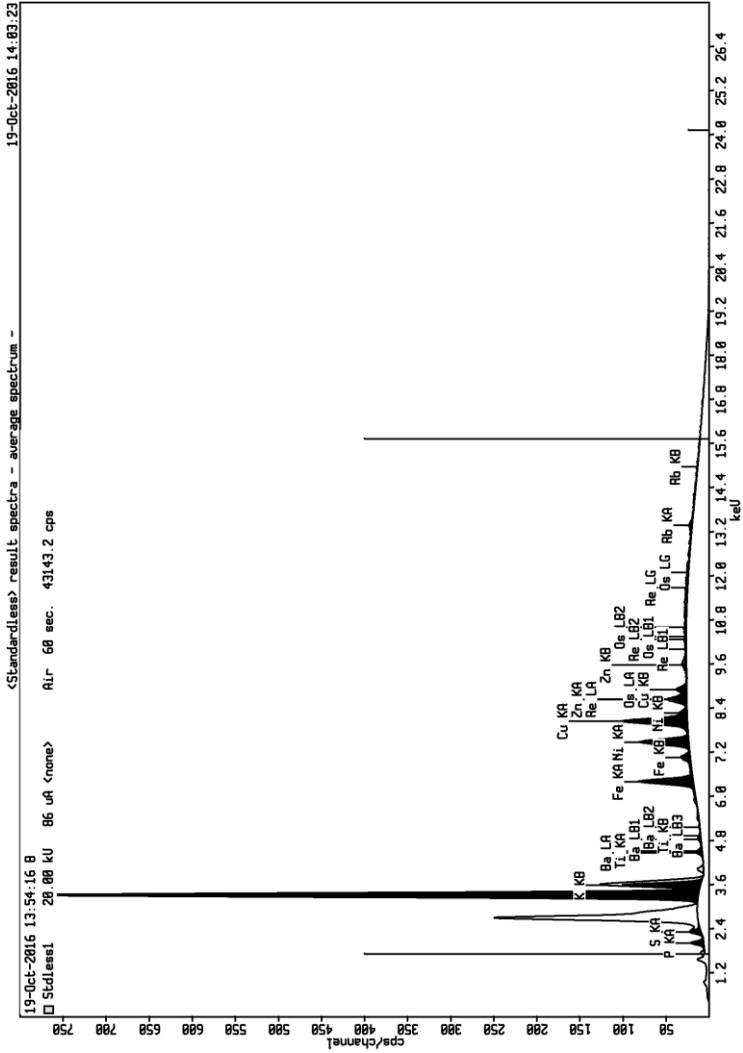
- Hidayat, S.T., Darminto, 2016. Sintesis Komposit Sukrosa-rGO (Grafena Oksida Tereduksi) Variasi Komposisi Massa untuk Bahan Superkapasitor Ramah Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Hong, X., Chung, D.D.L., 2015. Exfoliated graphite with relative dielectric constant reaching 360, obtained by exfoliation of acid-intercalated graphite flakes without subsequent removal of the residual acidity. *Carbon* 91, 1–10. doi:10.1016/j.carbon.2015.04.042
- Huang, M., Mi, R., Liu, H., Li, F., Zhao, X.L., Zhang, W., He, S.X., Zhang, Y.X., 2014. Layered manganese oxides-decorated and nickel foam-supported carbon nanotubes as advanced binder-free supercapacitor electrodes. *J. Power Sources* 269, 760–767. doi:10.1016/j.jpowsour.2014.07.031
- kla29@cam.ac.uk, n.d. Linear Sweep and Cyclic Voltametry: The Principles — Department of Chemical Engineering and Biotechnology [WWW Document]. URL <http://www.ceb.cam.ac.uk/research/groups/rg-eme/teaching-notes/linear-sweep-and-cyclic-voltametry-the-principles> (accessed 3.25.17).
- Li, L., Gao, P., Gai, S., He, F., Chen, Y., Zhang, M., Yang, P., 2016. Ultra small and highly dispersed Fe₃O₄ nanoparticles anchored on reduced graphene for supercapacitor application. *Electrochimica Acta* 190, 566–573. doi:10.1016/j.electacta.2015.12.137
- Liyanage, C.D., Pieris, M., 2015. A Physico-Chemical Analysis of Coconut Shell Powder. *Procedia Chem.* 16, 222–228. doi:10.1016/j.proche.2015.12.045
- 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. doi:10.1155/2013/923403

- Ma, J., Xue, T., Qin, X., 2014. Sugar-derived carbon/graphene composite materials as electrodes for supercapacitors. *Electrochimica Acta* 115, 566–572. doi:10.1016/j.electacta.2013.11.028
- Mas'udah, K.W., Nugraha, I.M.A., Abidin, S., Mufid, A., Astuti, F., Darminto, 2016. Solution of reduced graphene oxide synthesized from coconut shells and its optical properties. p. 020045. doi:10.1063/1.4945499
- 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. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.827.285
- Paneru, M., Babat, S., Maier, J., Scheffknecht, G., 2016. Role of potassium in deposit formation during wood pellets combustion. *Fuel Process. Technol., Fuel quality impacts on power production — The first 50 years* 141, Part 2, 266–275. doi:10.1016/j.fuproc.2015.10.008
- 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. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.827.290
- Qu, D., Shi, H., 1998. Studies of activated carbons used in double-layer capacitors. *J. Power Sources* 74, 99–107.
- Seung Lee, M., Gwang Ann, J., Joo Ong, Y., 2003. Chemical Model of the FeCl₃–HCl–H₂O Solutions at 75 degree celcius. *Mater. Trans.* 44, 957–961.
- Sharma, P., Bhatti, T.S., 2010. A review on electrochemical double-layer capacitors. *Energy Convers. Manag.* 51, 2901–2912. doi:10.1016/j.enconman.2010.06.031
- 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. doi: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. doi:10.1039/C1CS15060J
- Warner, J.H., 2013. Graphene : Fundamentals and Emerging Applications, in: *Graphene*. Elsevier, pp. 1–4. doi:10.1016/B978-0-12-394593-8.00001-1
- You, L., Zhang, Y., Xu, S., Guo, J., Wang, C., 2014. Movable Magnetic Porous Cores Enclosed within Carbon Microcapsules: Structure-Controlled Synthesis and Promoted Carbon-Based Applications. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 140819090112002. doi:10.1021/am503421z
- Zhang, L.L., Zhao, X.S., 2009. Carbon-based materials as supercapacitor electrodes. *Chem. Soc. Rev.* 38, 2520. doi:10.1039/b813846j
- Zheng, S., Wu, Z.-S., Wang, S., Xiao, H., Zhou, F., Sun, C., Bao, X., Cheng, H.-M., 2017. Graphene-based materials for high-voltage and high-energy asymmetric supercapacitors. *Energy Storage Mater.* 6, 70–97. doi:10.1016/j.ensm.2016.10.003

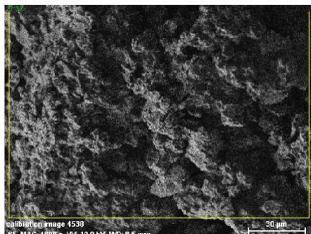
LAMPIRAN

L.1 Hasil Spektrum XRF

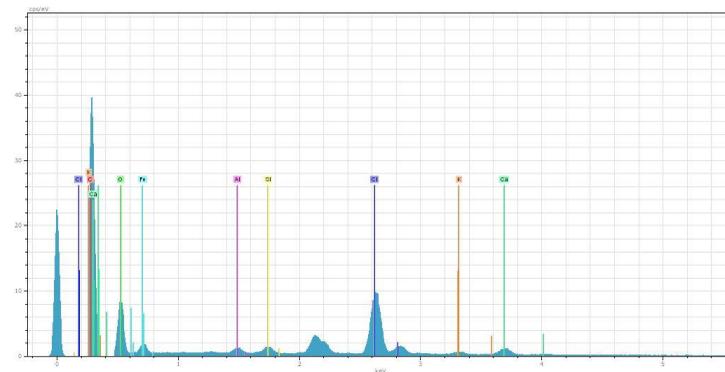


L.2 Report EDX

RGO-Glu-Fe



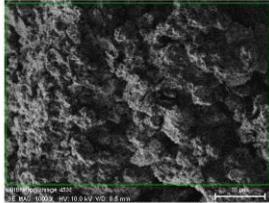
calibration image 4538 Date:3/14/2017
 11:55:14 AM Image size:512 x
 384 Mag:999.99994x HV:10.0kV



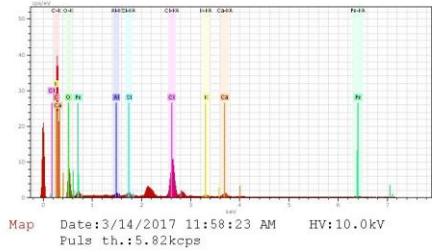
3.62 Date:3/14/2017 11:56:06 AM HV:10.0kV Puls th.:7.00keps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	56.28	56.28	68.48	18.8
O	8	K-series	28.74	28.74	26.25	9.6
Cl	17	K-series	7.52	7.52	3.10	0.3
Fe	26	K-series	5.63	5.63	1.47	0.3
Ca	20	K-series	1.35	1.35	0.49	0.1
K	19	K-series	0.27	0.27	0.10	0.0
Si	14	K-series	0.17	0.17	0.09	0.0
Al	13	K-series	0.03	0.03	0.02	0.0
Total:			100.00	100.00	100.00	

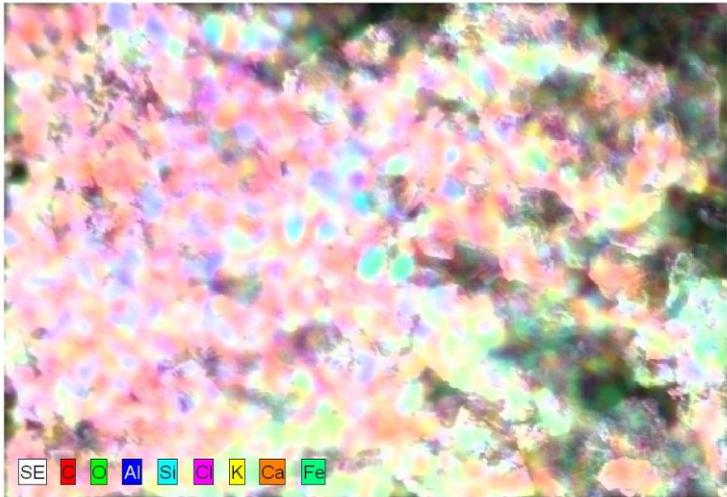
RGO-Glu-Fe

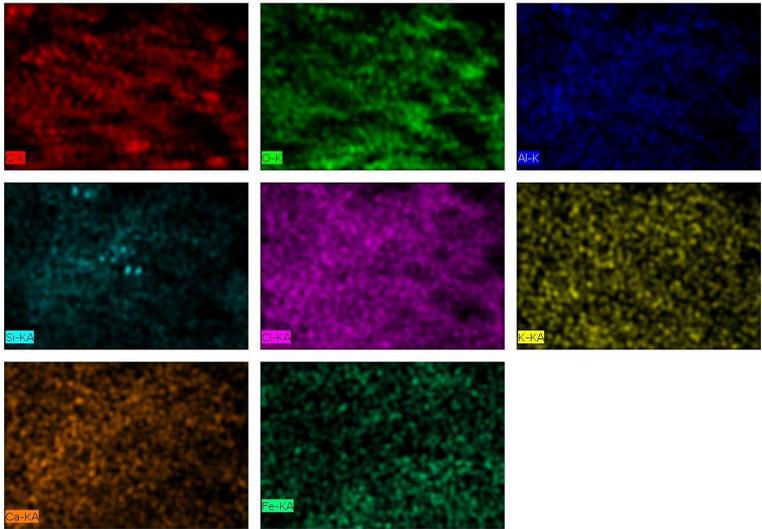


calibration image 4539 Date: 3/14/2017 11:55:14 AM Image size: 512 x 384 Mag: 999.99994 x HV: 10.0kV



calibration image 21 3551 Date: 3/14/2017 11:58:24 AM Image size: 504 x 344 Mag: 999.99994 x HV: 10.0kV





C-K, O-K, Al-K, Si-KA, Cl-KA, K-KA, Ca-KA, Fe-KA Date:3/14/2017 11:59:25 AM
Image size:504 x 344
Mag:999.99994x
HV:10.0kV

BIODATA PENULIS



Gilang Baswara Anggara Putra yang akrab dipanggil Gilang merupakan Penulis Tugas Akhir ini. Penulis merupakan kelahiran Surabaya, 30 Mei 1995 . Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dan berdomisili di Surabaya. Penulis memulai pendidikannya di SD Al Hikmah Surabaya , kemudian penulis melanjutkan di SMP Al Hikmah Surabaya . Pendidikan menengah atas dilanjutkan di Pondok Pesantren

Daru Ulum Jombang di SMA Darul Ulum 2 Jombang.

Penulis aktif dalam dunia riset sejak didanai Program Keilmiah Mahasiswa oleh DIKTI dalam bidang PKMP pada tahun 2013. Selain itu penulis juga aktif dalam dunia organisasi internal kampus seperti Lembaga Dakwah Jurusan FOSIF ITS dan Lembaga Dakwah Kampus JMMI ITS. Selain itu banyak kepanitiaan yang diikuti selama kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis juga pernah mengikuti program *School of Advanced Material* yang dilaksanakan oleh Nanyang Technology University Singapore pada tahun 2014. Diharapkan dengan ditulisnya penelitian ini dapat bermanfaat untuk kemajuan teknologi. Untuk kritik, saran, maupun pertanyaan dapat dikirimkan melalui email gilang.baswara.ap@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan