



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – SF 141501

**SINTESIS RGO/GLUKOSA DENGAN VARIASI
PERBANDINGAN MASSA DAN PROSES
EKSFOLIASI SECARA KIMIA UNTUK BAHAN
ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

**HERDY YUDHA PRADANA
NRP 1113 100 003**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Darminto**

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



TUGAS AKHIR – SF 141501

**SINTESIS RGO/GLUKOSA DENGAN VARIASI
PERBANDINGAN MASSA DAN PROSES
EKSFOLIASI SECARA KIMIA UNTUK BAHAN
ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

**HERDY YUDHA PRADANA
NRP 1113 100 003**

**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 RGO/GLUCOSE WITH MASS
RATIO VARIATION AND CHEMICAL
EXFOLIATION PROCESS FOR SUPERCAPACITOR
ELECTRODE MATERIAL**

**HERDY YUDHA PRADANA
NRP 1113 100 003**

**Supervisor
Prof. Dr. Darminto**

**DEPARTMENT FISIKA
Faculty of Mathematics and Natural Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

**SINTESIS RGO/GLUKOSA DENGAN VARIASI
PERBANDINGAN MASSA DAN PROSES EKSFOLIASI
SECARA KIMIA UNTUK BAHAN ELEKTRODA
SUPERKAPASITOR**

TUGAS AKHIR

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 :

HERDY YUDHA PRADANA
1113100003

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Prof. Dr. Darminto
NIP. 19600303 198701.1.002



(.....)

Surabaya, 25 Juli 2014



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**SINTESIS RGO/GLUKOSA DENGAN VARIASI
PERBANDINGAN MASSA DAN PROSES EKSFOLIASI
SECARA KIMIA UNTUK BAHAN ELEKTRODA
SUPERKAPASITOR**

Nama : Herdy Yudha Pradana
NRP : 1113100003
Departemen : Fisika, FMIPA-ITS
Pembimbing : Prof. Dr. Darminto

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian sintesis material untuk bahan elektroda superkapasitor. Bahan dasar yang digunakan pada penelitian ini adalah rGO dari tempurung kelapa tua yang dicampurkan dengan larutan HCl dalam proses penyayatan kimia serta glukosa sebagai material *spacer*. Penelitian ini akan menyelidiki pengaruh pengenceran HCl dalam proses penyayatan secara kimia serta menyelidiki pengaruh penambahan massa glukosa terhadap nilai kapasitansi dan rapat energi elektroda superkapasitor. Karakterisasi elektroda digunakan XRD, XRF, CHONS, PSA, CV, FTIR, serta SEM-EDX. Hasil pengujian XRD memperlihatkan bahan dasar tempurung kelapa merupakan rGO dengan sudut difraksi $2\theta = 25^{\circ}$ dan 44° . Pengujian XRF dan analisis CHONS menunjukkan unsur utama terbanyak adalah karbon (C) sebanyak 81%. Pengujian PSA menghasilkan lapisan rGO telah tereduksi ketebalannya hingga di bawah 70 nm. Pengujian CV menghasilkan nilai kapasitansi terbesar yang dimiliki oleh variasi sampel rGO/glukosa variasi pengenceran HCl (perbandingan HCl : rGO : Glu = 1 : 1 : 1) sebesar 39,7 F/g. Selanjutnya, hasil pengujian FTIR yang menunjukkan gugus fungsi rGO berupa C=C, O-H, dan C-H sedangkan untuk hasil pengujian SEM-EDX memperlihatkan persebaran unsur yang telah merata.

Kata kunci : Grafena oksida tereduksi (rGO), kapasitansi spesifik, superkapasitor.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SYNTHESIS OF RGO/GLUCOSE WITH MASS RATIO VARIATION AND CHEMICAL EXFOLIATION PROCESS FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODE MATERIAL

Name : Herdy Yudha Pradana
NRP : 1113100003
Department : Physics, Faculty of Mathematics and Natural Science ITS
Supervisor : Prof. Dr. Darminto

ABSTRACT

Research was conducted to synthesize material a for supercapacitor electrode. The basic ingredients of rGO from old coconut shell we used to mixed with HCl in the chemical exfoliation as well as glucose spacer. The dilution effect of HCl in the process of chemical exfoliation and the effect of adding mass of glucose against electrode specific capacitance have been investigated. Characterization of electrode was performed by using XRD, XRF, CHONS, PSA, CV, FTIR, and SEM-EDX. The results of XRD shows the basic ingredients of coconut shell is RGO with diffraction angles $2\theta = 25^\circ$ and 44° . The result of XRF and CHONS analyzer exhibits the most major elements which is carbon (C) as much as 81%. The PSA has resulted in the layer thickness of RGO, reduced down to 70 nm. The CV test gives result that the largest capacitance value variations in the sample rGO/glucose with dilution HCl variations (comparison rGO: Glu:HCl = 1:1:1) has value 39,7 F/g. Furthermore, the results of FTIR shows that produced RGO functional groups are C=C, O-H, and C-H while the SEM-EDX demonstrates the distribution of elements which has been spread uniformly.

Keyword : *Reduce graphene oxide (rGO), specific capacitance, supercapacitor.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan limpahan rahmat, petunjuk serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul

“SINTESIS RGO/GLUKOSA DENGAN VARIASI PERBANDINGAN KOMPOSISI MASSA DAN PROSES EKSFOLIASI SECARA KIMIA UNTUK BAHAN ELEKTRODA SUPERKAPASITOR”

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. Keluarga tercinta, Bapak Heri Wahyudi dan Ibu Sri Muliana dan kakak saya Hana Dian Pratiwi yang telah memberikan segala hal terbaik kepada penulis dari kecil hingga dewasa.
2. Bapak Prof. Dr. Darminto selaku dosen pembimbing penulis atas segala bimbingan dan motivasinya serta saran yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Drs. Agus Purwanto M.Sc. D.Sc. selaku dosen wali atas segala bimbingan dan motivasinya serta saran yang diberikan kepada penulis dalam menempuh pendidikan di Departemen Fisika FMIPA ITS ini.
4. Rekan satu tim Graphene di bawah bimbingan Bapak Prof. Dr. Darminto yang telah membantu dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman satu angkatan Supernova yang sudah sama-sama berjuang dalam menempuh pendidikan Strata 1 di Departemen Fisika FMIPA ITS ini.
6. Teman-teman kelompok kecil yaitu Riyan Yefta Purba dan Widyan Bima serta kakak bimbing Andreas Wim Kurniawan. Terimakasih karena sudah banyak mengajarkan bagaimana

kehidupan di kampus, berbagi cerita baik dalam segi rohani maupun jasmani dan yang paling penting menjadikan saya lebih baik dalam segi rohani.

7. Adek-adek bimbing saya yaitu Saytinodo Sun Indra A Lumbantobing, Ardhito Watno, Bryan Putra Arfianto, dan Windar Joshua Parentas. Terimakasih sudah mau berbagi kehidupan dengan saya baik dalam segi rohani ataupun dalam segi jasmani.
8. Teman-teman KPPM GKJW Simomulyo yang selalu memberi dukungan kepada saya.
9. Claudya Ananiel Papa yang selalu memberi semangat kepada saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

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

DAFTAR ISI

HALAMAN MUKA	i
COVER PAGE.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tempurung Kelapa Tua	5
2.2 Proses Karbonisasi	6
2.3 Grafena Oksida Tereduksi	7
2.4 Grafena Oksida Tereduksi Tempurung Kelapa Tua ..	9
2.5 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 Preparasi Bahan.....	19
3.2.2 Perlakuan Termal	20
3.2.3 Proses Sintesa.....	20
3.2.4 Pembuatan Elektroda Super kapasitor	21
3.3 Karakterisasi Material	21
3.4 Diagram Alir Penelitian	24
3.4.1 Pembuatan Serbuk rGO Tempurung Kelapa	24
3.4.2 Pembuatan Elektroda Superkapasitor	25
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Analisis Bahan Dasar	27
4.1.1 Analisis Fasa rGO	27
4.1.2 Analisis Komposisi Unsur rGO	28
4.1.3 Analisis Ukuran Partikel Bahan Dasar.....	30
4.2 Analisis Bahan Komposit rGO/Glukosa	33
4.2.1 Analisis Ukuran Partikel Bahan Komposit	33
4.2.2 Analisis Nilai Kapasitansi Spesifik.....	36
4.2.3 Analisis Ikatan Molekul Bahan Komposit	43
4.2.4 Analisis Morfologi Bahan Komposit	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran.....	49

DAFTAR PUSTAKA	xxi
LAMPIRAN.....	xxv
L.1 Hasil Spektrum XRF	xxv
L.2 Report EDX	xxvi
BIODATA PENULIS.....	xxix

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil kapasitansi dari beberapa penelitian sebelumnya	17
Tabel 4. 1 Persentase unsur material serbuk rGO tempurung kelapa tua.....	29
Tabel 4. 2 Nilai kapasitansi spesifik dan rapat energi pada setiap sampel dan variasi perbandingan	41

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses pembuatan grafena.....	8
Gambar 2. 2 Difraksi kristal hasil pembakaran tempurung kelapa (Nugraheni et al., 2015)	10
Gambar 2. 3 Proses eksfoliasi rGO menggunakan asam dan pemanasan (Al-Hazmi et al. 2015)	11
Gambar 2. 4 Skema superkapasitor.....	13
Gambar 2. 5 Grafik Ragone Plot (Kötz and Carlen 2000).....	14
Gambar 2. 6 Mekanisme polarisasi elektrolit pada superkapasitor EDLC (Kim and Kim, 2001).....	15
Gambar 3. 1 Diagram alir pembuatan serbuk rGO.....	24
Gambar 3. 2 Diagram alir pembuatan elektroda superkapasitor.....	25
Gambar 4. 1 Grafik pola XRD pada serbuk rGO.....	27
Gambar 4. 2 (a) Pola difraksi referensi untuk rGO (Fu et al, 2013), (b) pola difraksi referensi rGO tempurung kelapa tua (Nugraheni, 2015)	28
Gambar 4. 3 Hasil uji PSA sampel rGO (a) dan sampel glukosa (b).....	31
Gambar 4. 4 Hasil uji PSA sampel rGO dengan pengenceran HCl	32
Gambar 4. 5 Hasil pengujian PSA sampel rGO/glukosa variasi pengenceran HCl (a) dan sampel rGO/glukosa variasi komposisi massa glukosa (b).....	34
Gambar 4. 6 Grafik pengujian CV sampel rGO pengenceran HCl tanpa glukosa (kontrol)	37
Gambar 4. 7 Grafik pengujian CV sampel rGO/glukosa variasi pengenceran HCl.....	39
Gambar 4. 8 Grafik pengujian CV sampel rGO/glukosa variasi komposisi massa	40
Gambar 4. 9 Grafik pengujian FTIR sampel R11	44
Gambar 4. 10 Hasil pengujian morfologi sampel R11 perbesaran 1000 (a), perbesaran 20000 (b) EDX	46

“Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

L.1 Hasil Spektrum XRF	xxv
L.2 Report EDX	xxvi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di zaman yang semakin modern energi merupakan sesuatu yang sangat dibutuhkan oleh manusia. Sumber daya alam yang ada sudah banyak dimanfaatkan untuk dijadikan suatu energi. Salah satu bentuk energi yang penggunaannya meluas dan sangat dibutuhkan masyarakat luas adalah energi listrik. Dengan semakin majunya teknologi di zaman sekarang energi listrik dapat dikonversikan ke beberapa jenis energi lain yaitu antara lain energi panas, energi cahaya, energi kinetik dan lain-lain. Dengan semakin terus berkembangnya zaman dan teknologi tentunya menjadikan kebutuhan akan energi listrik juga akan semakin meningkat. Sehingga teknologi penyimpanan energi listrik adalah salah satu teknologi yang harus terus dikembangkan juga demi kemajuan teknologi kedepannya (Hidayat, 2016).

Media penyimpanan energi pada umumnya adalah baterai dan kapasitor. Selama ini baterai memang dianggap sangat efektif untuk menjadi sumber daya bagi alat yang memiliki voltase yang rendah. Namun, baterai memiliki kelemahan jika dipakai terus-menerus maka baterai akan mengalami penurunan tegangan (Simpson, 2011). Media penyimpan lainnya adalah superkapasitor dimana superkapasitor merupakan terobosan yang menarik di bidang energi karena superkapasitor memiliki kapasitas penyimpanan yang jauh lebih besar dari kapasitor biasa, proses pengisian muatan yang relatif lebih cepat serta tahan lama. Prinsip kerja dari super kapasitor ini memanfaatkan bahan-bahan yang memiliki permukaan aktif yang sangat luas sebagai pengisi elektroda sehingga bisa meningkatkan kinerjanya (Hidayat, 2016).

Grafena Oksida Tereduksi (rGO) merupakan penelitian yang sangat menarik dalam sepuluh tahun terakhir ini karena memiliki keunggulan sifat dalam sifat listrik, termal, konduktivitas dan mekanik serta mempunyai luas permukaan yang besar sehingga dapat dijadikan sebagai bahan baku super kapasitor. Grafena Oksida Tereduksi (rGO) dapat diproduksi dengan biaya yang relatif murah yaitu dari tempurung kelapa tua seperti penelitian yang sudah dilakukan oleh (Hidayat, 2016). Dalam penelitian dilakukan oleh (Nugraheni et al., 2015) tempurung kelapa tua yang telah mengalami proses karbonisasi pada temperatur 400°C mempunyai ikatan molekul utama dari grafena yaitu C=C dan C-C. Selain itu juga mengandung banyak ikatan pengotor seperti C-H, C-O, C=O dan O-H yang mengindikasikan adanya fasa rGO. Untuk penelitian (Hidayat, 2016) yang juga memanfaatkan tempurung kelapa tua dengan melakukan hal yang sama yaitu karbonisasi hingga menjadi serbuk arang, serbuk arang kemudian di sintesis dengan sukrosa dan dijadikan sebagai bahan elektroda super kapasitor. Dari penelitian tersebut di dapatkan hasil untuk rGO/Sukrosa 4 F/g dan untuk rGO saja 13 F/g. Sedangkan untuk penelitian (Ma et al., 2014) yaitu *sugar-derived/carbon graphene* dapat menghasilkan hasil kapasitansi 203 F/g. Untuk (Tran and Jeong, 2015) membuat komposit rGO/glukosa/Ni sehingga kapasitasnya meningkat menjadi 251 F/g. Data tersebut dapat disimpulkan bahwa memasukkan partikel dari material gula di antara lembaran rGO dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan energinya. Pada penelitian yang sudah dilakukan (Al-Hazmi et al., 2015), teknik eksfoliasi yang efektif untuk menyayat lapisan rGO adalah dengan mencampurkan rGO dengan material asam, hal itu membantu merenggangkan lapisan antar rGO, dimana material gula juga dapat menyisip diantara lapisan rGO untuk mencegah terjadinya aglomerasi antar lapisan rGO.

Oleh karena itu diharapkan penyisipan atom karbon dari material glukosa dan penambahan larutan asam sebagai proses eksfoliasi secara kimia dapat memperluas permukaan dari rGO dan menghasilkan nilai kapasitansi spesifik yang besar maka penelitian yang berjudul “Sintesis rGO/Glukosa dengan Variasi Komposisi Massa dan Proses Eksfoliasi secara Kimia untuk Bahan Elektroda Superkapasitor” yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh eksfoliasi secara kimiawi dan pengaruh perbandingan komposisi massa terhadap nilai kapasitansi spesifik dan rapat energinya.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dari tugas akhir ini adalah pengaruh pengenceran larutan asam HCl pada proses eksfoliasi secara kimia terhadap ukuran partikel rGO dan nilai kapasitansi spesifik superkapasitor berbasis rGO tempurung kelapa tua dan pengaruh penambahan material glukosa sebagai *spacer* pada pencampuran rGO/glukosa terhadap nilai kapasitansi spesifik dan rapat energi superkapasitor.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini antara lain adalah : Pada penelitian ini, permasalahan dibatasi dengan rGO dari tempurung kelapa tua yang dikarbonisasi dengan temperatur 400°C dengan waktu 3 jam, pengenceran HCl dengan perbandingan rGO/HCl 1:1, 1:5, 1:10 serta waktu ultrasonik selama 6 jam. Perbandingan komposisi massa rGO/Glukosa yang digunakan sebesar 1:1 gram, 1:2 gram dan 2:1 gram, dimana glukosa hanya berperan sebagai *spacer*. Metode pencampuran

yang digunakan adalah metode *wet mixing* serta dikeringkan dengan metode *hot drying*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah pengaruh penambahan larutan asam HCl pada proses eksfoliasi secara kimia terhadap ukuran partikel rGO dan nilai kapasitansi spesifik superkapasitor berbasis rGO tempurung kelapa tua dan pengaruh penambahan material glukosa sebagai *spacer* pada pencampuran rGO/glukosa terhadap nilai kapasitansi spesifik dan rapat energi superkapasitor.

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 Tempurung Kelapa Tua

Negara Indonesia merupakan salah satu negara penghasil pohon kelapa terbesar didunia. Hingga saat ini beberapa bagian dari pohon kelapa sudah banyak dimanfaatkan seperti bunga, batang, daun, buah bahkan akar dari pohon kelapa juga dapat dimanfaatkan. Namun ada salah satu limbah dari pohon kelapa ini yang kurang dilihat manfaatnya, yaitu tempurung kelapa terutama tempurung kelapa yang tua. Tempurung kelapa memiliki ketebalan sekitar 3-5 mm dimana terdiri dari lignin, metoksi, selulosa dan beberapa bahan mineral lainnya serta memiliki berat sekitar 15-19% dari berat kelapa keseluruhan. Tempurung kelapa merupakan salah satu material organik yang digunakan untuk menghasilkan unsur karbon dan yang kemudian dijadikan suatu produk berupa arang (Suhartana, 2006).

Tempurung kelapa yang adalah bahan organik yang terdiri dari beberapa komponen seperti hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Selulosa adalah senyawa organik dengan formula $(C_6H_{10}O_5)_n$ yang terdapat pada dinding sel dan berfungsi untuk menguatkan struktur. Hemiselulosa 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 yang berfungsi sebagai pengikat sel-sel yang lain dan memberikan kekuatan (Wachid, 2013).

2.2 Proses Karbonisasi

Karbonisasi adalah suatu proses dimana pengkonversian suatu zat organik ke dalam karbon di dalam proses pembuatan arang karbon dan proses ini bahan bakunya adalah tempurung kelapa. Tempurung kelapa memiliki sifat difusi termal yang baik yang diakibatkan oleh tingginya kandungan selulosa dan lignin yang terdapat di dalam tempurung. Prinsip karbonisasi adalah proses pemanasan tanpa menggunakan oksigen (oksigen dibatasi) atau reagen lainnya, sehingga hanya senyawa yang mudah menguap saja yang akan hilang dan hanya tersisa unsur karbon dengan wujud arang. Karbonisasi meliputi proses perombakan dengan keadaan anaerob (tanpa oksigen) pada temperatur rendah 459-700°C dan pada temperatur tinggi 900-1200°C menghasilkan material padat dan berpori yang mempunyai sifat kimia dan fisik tertentu, diantaranya porositas tinggi, mempunyai kekuatan mekanis yang lebih tinggi, kandungan air dan abu yang kecil, serta kandungan zat terbang rendah dan karbon yang tinggi (Nasrullah, 2014).

Tempurung kelapa yang basah akan menimbulkan banyak asap pada saat dilakukan karbonisasi. Proses karbonisasi dilakukan dengan sistem suplai udara terbatas dengan tujuan agar tidak terjadi pembakaran lebih lanjut pada tempurung kelapa sehingga rendemen arang yang diperoleh tinggi karena terbentuk arang secara sempurna dan hanya menyisakan sedikit abu. Pada proses karbonisasi terjadi penguraian bahan-bahan organik yang terkandung di dalam tempurung kelapa. Pada temperatur 100-120°C terjadi penguapan air, pada temperatur 270-310°C terjadi penguraian selulosa menjadi larutan piroglinat, gas kayu dan sedikit ter, pada temperatur 310-500°C terjadi penguraian lignin dihasilkan lebih banyak ter sedangkan larutan piroglinat dan gas

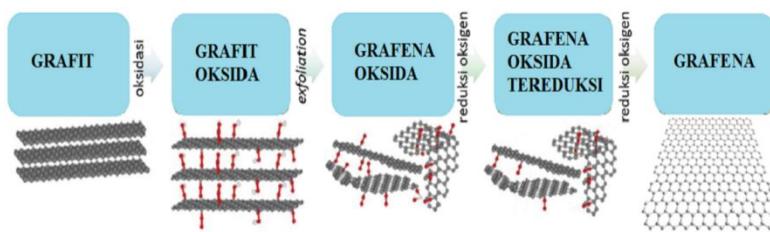
CO₂ menurun sedangkan gas CH₄, CO dan H₂ meningkat dan pada temperatur 500-1000°C merupakan tahap pemurnian arang atau peningkatan kadar karbon (Maryono, 2013)

2.3 Grafena Oksida Tereduksi

Karbon memiliki tiga struktur atau alotrop karbon utama yaitu grafit, fullerene, dan intan. Kata karbon sendiri berasal dari bahasa romawi yaitu “carbo” yang memiliki arti bara api. Perbedaan struktur fisika karbon yang membuatnya memiliki berbagai nama polimorf seperti grafit, karbon hitam, karbon nanotube, diamond, lansdalite, fullerene (Pierson, 2012). Konfigurasi elektron karbon adalah 1s², 2s², 2p² dimana elektron menempati kulit pertama dan kedua, serta pada kulit kedua menempati sub kulit s dan p. Pada atom karbon elektron valensi terletak pada sub kulit 2p yang berisi 2 elektron. Pada tingkatan ini karbon menjadi divalen selama hanya ada 2 elektron yang berikatan. Akan tetapi polimorf karbon yang stabil terdiri dari 4 ikatan yang berarti tetravalent. Peristiwa ini terjadi akibat elektron pada kulit 2s mudah terlepas jika diberikan potensial listrik untuk memiliki energi yang cukup untuk melepaskan dari ikatan dengan inti atom. Karbon dapat dihasilkan dari pembakaran pirolisis dan proses karbonisasi dari material organik. Proses karbonisasi dilakukan melalui penguraian senyawa organik dengan proses pemanasan tanpa kehadiran oksigen sehingga unsur karbon dapat dipertahankan dan komponen volatilnya dapat dihilangkan sementara pirolisis merupakan pembakaran tidak sempurna (Hidayat, 2016).

Grafena merupakan polimorf karbon yang bentuknya data dan berdimensi 2D serta memiliki kisi heksagonal. Salah satu karakteristik dari grafena adalah memiliki keteraturan susunan

atom karbon yang sempurna. Keteraturan atom-atom yang sangat tinggi dan bahkan tanpa cacat timbul sebagai akibat dari ikatan atom-atom yang kuat. Ikatan kimia atom-atom karbon pada material grafena ini merupakan superposisi $2s$ dengan orbital $2p_x$ dan $2p_y$ yang memberikan kesetimbangan energi pada kisi-kisi heksagonal 2D dan ikatan dengan 3 atom karbon yang berdekatan (Choi et al, 2010). Grafena memiliki keunggulan yaitu memiliki sifat kelistrikan yang baik, konduktivitas yang tinggi, bersifat superparamagnetik dan memiliki sifat mekanik yang baik. Grafena dapat dibuat dari proses reduksi dari grafena oksida tereduksi atau oksidasi dari grafena oksida. Pada Gambar 2.1 adalah proses pembuatan grafena dari bahan alam grafit, dimana prosesnya itu diawali dengan grafit di oksidasi menjadi oksida grafit yang membuat unsur-unsur oksigen pada grafit menguap. Kemudian oksida grafit di beri perlakuan eksfoliasi atau di sayat menjadi grafena oksida dimana pada grafena oksida ini *layer* atau lapisannya tersayat dan membentuk lapisan-lapisan yang terpisah. Grafena oksida di reduksi oksigennya menjadi grafena oksida tereduksi (rGO) dimana pada rGO ini selain ikatan antar lapisan meregang, oksigen dari rGO juga tereduksi dan menyebabkan adanya cacat pada struktur dari rGO tersebut. Kemudian rGO direduksi dan menjadi grafena yang memiliki lapisan yang tipis hanya satu layer dan strukturnya berbentuk heksagonal (Shao et al.,2012)

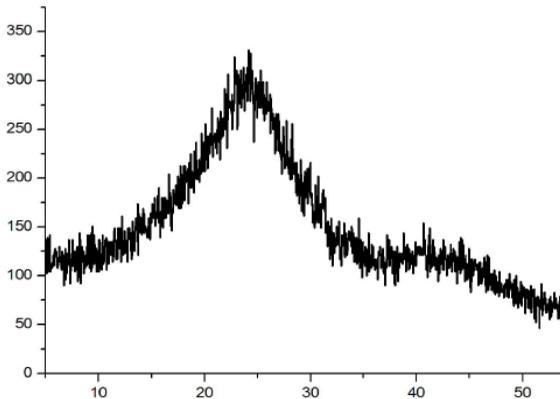


Gambar 2. 1 Proses pembuatan grafena

Pada grafena terdapat 3 buah turunan yaitu grafit, grafena oksida, dan grafena oksida tereduksi. Grafit merupakan material dasar dari karbon yang bersifat amorf, bertumpuk dan kaya akan kandungan karbon dan oksigen. Grafena oksida merupakan hasil dari oksidasi grafit yang menambah jumlah oksigen serta membuat beberapa ikatan *van der waals* terlepas sehingga ketebalannya berkurang. Grafena Oksida Tereduksi (rGO) secara teori merupakan oksida grafena yang mengalami reduksi atom oksigen dan atom hidrogen sehingga diperoleh sifat dan struktur yang menyerupai grafena. (Geim and Novoselov, 2007).

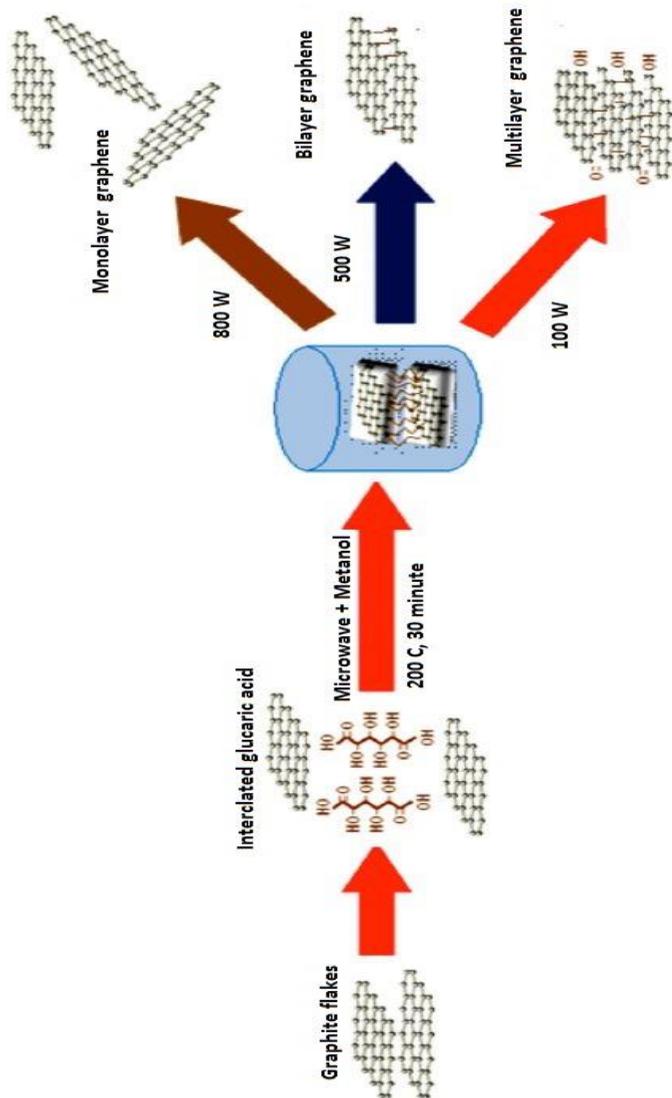
2.4 Grafena Oksida Tereduksi Tempurung Kelapa Tua

Proses pemanasan pada tempurung kelapa akan menghasilkan perubahan yang bertahap, untuk tahapan yang pertama dari karbonisasi yaitu sampel karbon menjadi arang. Tahapan kedua dari grafitisasi yang berubah yaitu arang berubah menjadi karbon grafit dengan struktur yang tidak teratur cenderung untuk tumbuh kearah grafit yang memiliki struktur teratur. (Rampe et al., 2013). Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nugraheni 2015, tempurung kelapa yang sudah di panaskan menjadi arang kemudian di tumbuk menjadi serbuk dan menghasilkan fasa rGO sesuai pada Gambar 2.2. Pada Gambar 2.2 terlihat bahwa pembakaran tempurung kelapa tua menghasilkan fasa rGO dengan puncak 24° dan 44° (Nugraheni et al., 2015).



Gambar 2. 2 Difraksi kristal hasil pembakaran tempurung kelapa (Nugraheni et al., 2015)

Pada penelitian yang di lakukan (Nugraheni et al., 2015) serbuk arang tempurung kelapa yang sudah menghasilkan fasa rGO masih memiliki lapisan yang bertumpuk oleh karena itu dilakukan proses eksfoliasi yang bertujuan untuk menyayat lapisan rGO agar tercipta lembaran-lembaran tipis dari lapisan rGO dengan melepaskan ikatan *van der waals* dari rGO tersebut. Teknik penyayatan ini menggunakan perlakuan mekanik yaitu ultrasonikasi dimana rGO dipanasi dengan temperatur 95°C selama 3 jam, kemudian sampel di getarkan hingga membuat ketebalan menjadi 10 nm (Loryuenyong et al., 2013). Pada penelitian yang sudah dilakukan (Al-Hazmi et al., 2015), teknik penyayatan yang efektif untuk menyayat lapisan rGO adalah dengan mencampurkan rGO dengan material asam yaitu asam klorida (HCl) atau asam sulfat (H₂SO₄). Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.3 yaitu proses pencampuran larutan tersebut juga disertai pemanasan dengan temperatur 750°C hingga terjadinya perenggangan jarak antar lapisan rGO akibat pergerakan partikel asam.

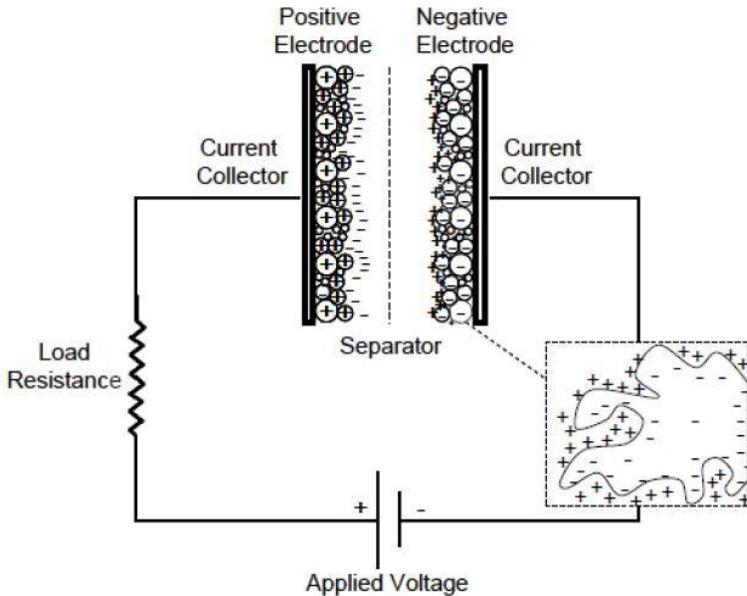


Gambar 2. 3 Proses eksfoliasi rGO menggunakan asam dan pemanasan (Al-Hazmi et al. 2015)

Hal itu juga menyebabkan ikatan *van der waals* yang melemah. Setelah itu sampel di ultrasonikasi dengan alat *ultrasonic cleaner* agar partikel-partikel asam dapat menyusup dan memutuskan ikatan *van der waals* tersebut sehingga tercipta lapisan rGO yang memiliki lembaran tipis dan luas permukaan yang lebar serta nilai kapasitansi yang tinggi. (Al-Hazmi et al., 2015).

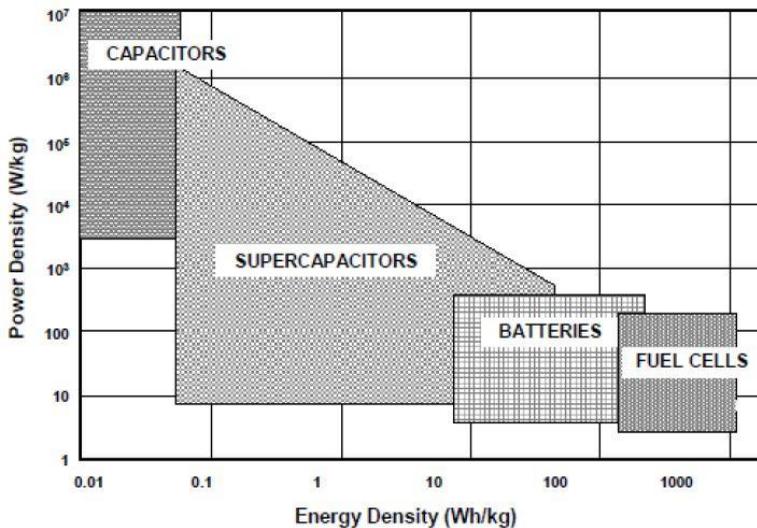
2.5 Superkapasitor

Superkapasitor merupakan teknologi baru yang dikembangkan dari kapasitor konvensional yang dikembangkan untuk penyimpanan energi yang modern. Kapasitor ini memanfaatkan permukaan elektroda yang luas dan bahan dielektrik yang tipis untuk mencapai nilai kapasitansi yang jauh lebih besar daripada kapasitor konvensional. Hal ini memungkinkan superkapasitor akan memiliki rapat energi yang jauh lebih besar dibanding dengan kapasitor konvensional dan memiliki rapat daya jauh lebih besar daripada baterai. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.4 yaitu skema dari superkapasitor yang mana pada superkapasitor tersebut pada bahan elektrodanya memiliki permukaan yang luas serta bahan dielektriknya yang tipis, hal itu dapat membuat super kapasitor memiliki nilai kapasitansi yang jauh lebih besar daripada kapasitor konvensional. Super kapasitor, juga dikenal sebagai ultra kapasitor atau kapasitor elektrokimia, memanfaatkan permukaan elektroda dan larutan elektrolit dielektrik tipis untuk mencapai kapasitansi beberapa kali lipat lebih besar dibandingkan kapasitor konvensional (Conway, 1999).



Gambar 2. 4 Skema superkapasitor

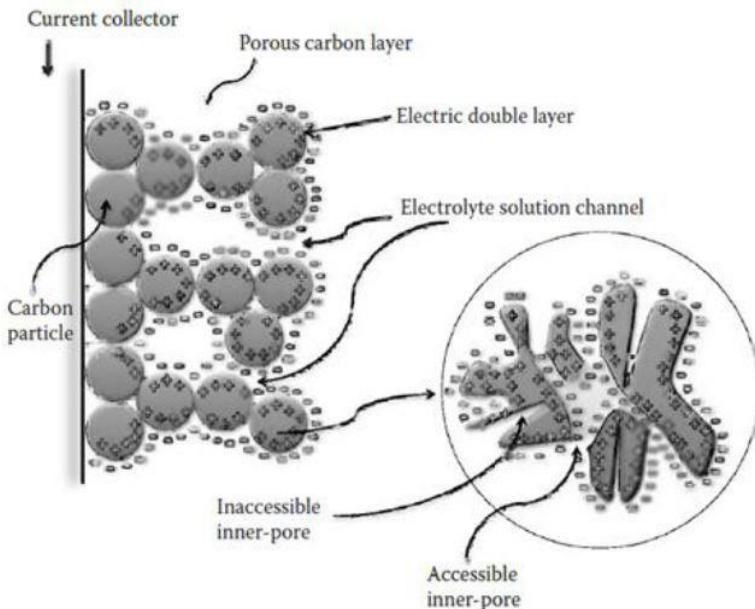
Untuk kinerja dari super kapasitor dapat ditunjukkan pada grafik yang dinamakan Ragone Plot dimana pada grafik ini menyajikan rapat daya dari berbagai perangkat penyimpan energi yang dibandingkan dengan rapat energinya. Pada grafik Ragone Plot terlihat bahwa superkapasitor menempati daerah antara kapasitor konvensional dan baterai. Meskipun kapasitansi yang dimiliki oleh superkapasitor lebih besar dari kapasitor namun rapat energi dari super kapasitor belum mencapai rapat energi dari baterai dan *fuel cell*. Berikut adalah Gambar 2.5 untuk grafik Ragone Plot (Kötz and Carlen, 2000).



Gambar 2. 5 Grafik Ragone Plot (Kötz and Carlen 2000)

Berdasarkan mekanisme penyimpanan energinya super kapasitor dibedakan menjadi 2 yaitu kapasitor elektrokimia dwi lapis (*electrochemical double layers capacitors / EDLC*) dan pseudo kapasitor. Setiap jenis superkapasitor memiliki mekanisme yang unik dalam menyimpan muatan. Untuk superkapasitor jenis kapasitor elektrokimia dwi lapis (EDLC) tersusun atas dua elektroda berbasis karbon, larutan elektrolit, dan pemisah atau separator. Pada super kapasitor EDLC menyimpan muatan secara elektrostatis (non-Faradaic) dan tidak ada transfer muatan antara elektroda dan elektrolit. Mekanisme polarisasi elektrolit pada superkapasitor EDLC dapat dilihat pada Gambar 2.6 dimana adanya porositas pada elektroda dwi lapis yang tercipta seiring dengan adanya peningkatan luas permukaan dan penurunan jarak antara elektroda (Burke, 2010). Jika hal itu tercapai maka memungkinkan super kapasitor EDLC untuk mencapai kepadatan

energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kapasitor konvensional. Karena tidak adanya transfer muatan antara elektrolit dan elektroda pada superkapasitor EDLC, hal itu membuat tidak terdapat bahan kimia atau komposisi muatan yang terkait dengan proses non-Faradaic. Oleh karena itu proses penyimpanan muatan pada EDLC itu *reversibel* yang memungkinkan muatan tersebut dapat mencapai kestabilan siklus (Conway 1999).



Gambar 2. 6 Mekanisme polarisasi elektrolit pada superkapasitor EDLC (Kim and Kim, 2001)

Pada umumnya EDLC beroperasi dengan performa yang stabil dengan banyak siklus *charge-discharge* dan terkadang sebanyak 106 siklus. Karena EDLC memiliki siklus yang stabil maka sangat cocok digunakan pada wilayah yang sulit dijangkau

seperti laut, pegunungan, dan laut bagian dalam. Performa pada EDLC dapat disesuaikan dengan mengubah sifat elektrolit. Larutan elektrolit yang biasa digunakan pada super kapasitor EDLC ini adalah H_2SO_4 dan KOH , karena dua larutan ini memiliki ESR (*electron spin resonance*) yang lebih rendah dan memiliki ukuran pori yang lebih kecil (Kim and Kim 2001). Untuk pseudokapasitor menyimpan muatan secara Faradaic yaitu melalui transfer muatan antara elektroda dan elektrolit. Hal itu terjadi melalui proses *electrosorption*, reaksi reduksi-oksidasi dan proses interkalasi. Proses penyimpanan muatan pada pseudokapasitor ini memungkinkan mencapai nilai kapasitansi yang lebih besar dan rapat energi yang lebih besar juga dari jenis EDLC. Pada pseudokapasitor material yang digunakan dalam menyimpan muatan adalah polimer konduktif dan logam oksida (Mastragostino and Arbizzani, 2001).

Penggunaan glukosa selain untuk meningkatkan nilai kapasitansi, dapat juga bertindak sebagai pengikat antar komposit serta dapat digunakan untuk pemberi sekat (spacer) antar lapisan rGO. Glukosa ini dapat meningkatkan luas permukaan dari rGO, sehingga seiring dengan peningkatan luas permukaan rGO maka nilai kapasitansi juga akan meningkat. Dari beberapa penelitian terdahulu tentang bahan elektroda superkapasitor berbasis rGO. Dari penelitian (Hidayat 2016) menghasilkan 13 F/g untuk rGO tempurung kelapa tua dan 4 F/g untuk komposit rGO/Sukrosa tempurung kelapa tua. Dari penelitian (Tran and Jeong, 2015) menghasilkan 55 F/g untuk komposit rGO/Glukosa dan 251 F/g untuk komposit rGO/glukosa/Ni. Dari penelitian (Ma, Xue, and Qin 2014) menghasilkan 203 F/g untuk *Sugar-Derived/Carbon Graphene*. Berikut adalah beberapa hasil penelitian sebelumnya mengenai elektroda superkapasitor berbahan dasar rGO.

Tabel 2. 1 Hasil kapasitansi dari beberapa penelitian sebelumnya

Perpaduan	Kapasitansi Spesifik (F/g)	Referensi
<i>Sugar-derived/Carbon Graphene</i>	203	(Ma et al., 2014)
Komposit Sukrosa/rGO Tempurung Kelapa	4	(Hidayat, 2016)
rGO Tempurung Kelapa	13	(Hidayat, 2016)
rGO/Glukosa	55	(Tran and Jeong 2015)
rGO/Glukosa/Ni	251	(Tran and Jeong 2015)
Komposit <i>Graphene/Carbon Black</i>	138	(Wang et al., 2012)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Pada penelitian ini alat yang digunakan adalah gelas beker, timbangan digital, *crucible*, mortar, aluminium foil, spatula, plastik, kertas saring halus, ayakan dengan ukuran 200 mesh, lampu halogen, *magnetic stirrer*, spatula, *plastic wrap*, pipet, *ultrasonic cleaner*, *centrifuge*, *cuvette* dan *furnace*. Pada proses karakterisasi sampel dipakai alat uji XRD (*x-ray diffractometer*), XRF (*x-ray fluorescence*), CHONS (*carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen, sulfur*), PSA (*particle size analyzer*), SEM-EDX (*scanning electron microscope-energy dispersive x-ray*), dan *cyclic voltametry* (CV).

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk arang tempurung kelapa tua, aquades, asam klorida (HCl), pasta perak (*silver conductive paste*), *dextrose monohydrate* (C₆H₁₂O₆), *pottasium hydroxide* (KOH) dan alkohol. Untuk bahan tempurung kelapa yang digunakan itu dari kelapa tua yang dibeli di pasar menur.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Preparasi Bahan

Tempurung kelapa tua dibersihkan serabutnya hingga tersisa tempurung. Kemudian tempurung di bakar hingga berbentuk arang. Tempurung kelapa yang sudah menjadi arang tadi

dihaluskan dengan mortar untuk mendapatkan hasil berupa serbuk kasar. Serbuk yang kasar dihaluskan kembali dengan menggunakan ayakan 200 mesh. Tujuan dari pengayakan ini untuk menghomogenkan ukuran partikel. Hasil pembakaran yang sudah di tumbuk dan di mortar menjadi serbuk yang halus di uji XRD untuk mengetahui sudah terbentuk fasa rGO. Jika sudah terbentuk di uji XRF dan CHONS untuk mengetahui persentase kandungan material yang ada pada sampel.

3.2.2 Perlakuan Termal

Proses perlakuan termal ini dilakukan dengan memanaskan serbuk arang yang sudah halus tadi dengan karbonisasi dalam oven. Proses pemanasan ini dilakukan dengan temperatur 400°C dengan waktu 3 jam. Pada saat proses pemanasan sampel yang diletakkan pada *crucible* akan mengalami penyusutan massa. Penyusutan massa ini terjadi karena lepasnya unsur oksigen dalam serbuk arang yang menyebabkan lebih terbentuknya fasa rGO.

3.2.3 Proses Sintesa

Pada proses sintesis ini untuk rGO tanpa glukosa hanya diberi variasi pengenceran larutan asam HCl dengan perbandingan rGO : HCl yaitu 1:1 (RK11), 1:5 (RK15), dan 1:10 (RK110) sedangkan untuk sintesis rGO dengan glukosa yang diberi perbandingan komposisi massa dengan perbandingan rGO : Glukosa yaitu 1:1 gram, 1:2 gram, dan 2:1 gram dan juga diberi pengenceran HCl dengan perbandingan yang sama. Jadi penggabungan perbandingannya HCl : rGO : Glukosa menjadi 1:1:1 (R11), 10:1:1 (R101), 5:1:1 (51) untuk variasi perbandingan pengenceran HCl dan 1:1:1 (R11), 2:2:1 (R21), 1:1:2 (R12) untuk variasi perbandingan komposisi massa. Kemudian sampel di eksfoliasi

mekanik dengan alat *ultrasonic cleaner* selama 6 jam. Hasil eksfoliasi dimasukkan ke dalam tabung reaksi untuk proses selanjutnya yaitu di homogenkan dengan menggunakan alat sentrifuge dengan kecepatan 3500 rpm selama 40 menit kemudian di karakterisasi menggunakan PSA. Proses ini akan membuat rGO yang menggumpal dan menumpuk menjadi terkelupas sehingga rGO membentuk lembaran-lembaran yang terpisah. Proses selanjutnya dicuci dengan akuades dan dikeringkan sambil diaduk dengan stirrer dengan temperatur 70°C hingga sampel berbentuk *slurry* atau seperti bubuk.

3.2.4 Pembuatan Elektroda Super kapasitor

Pada proses pembuatan elektroda superkapasitor sampel yang berbentuk *slurry* di tuangkan ke dalam cetakan berbentuk pelet kemudian di keringkan di dalam oven hingga berbentuk padatan seperti pelet. Sampel yang berbentuk pelet kemudian dilapisi oleh pasta perak (Merck). Penggunaan pasta perak ini berfungsi untuk memperluas jangkauan kontak listrik antara probe instrument CV dengan pelet sehingga di dapatkan data yang bagus, karena luasan probe juga lebih kecil dibandingkan dengan luas penampang melintang pelet, sehingga diperlukan kontak tambahan untuk dapat diukur secara merata.

3.3 Karakterisasi Material

Karakterisasi Material yang dilakukan pada sampel meliputi :

a. *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 $5^{\circ} - 50^{\circ}$ menggunakan alat XRD

tipe PANalytical dengan radiasi Cu-K α di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS Surabaya. Pola radiasi difraksi yang didapatkan kemudian dianalisis secara kualitatif menggunakan software MATCH!.

b. *X-Ray Fluorescence (XRF)* dan Analisis CHONS

Pengujian XRF tipe PANalytical Minipal 4 di Universitas Negeri Malang yang dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur – unsur yang terkandung dalam material. Pengujian CHONS yang dilakukan di Departemen Teknik Lingkungan FTSP ITS dengan menggunakan metode ASTM D 5373-2002 dan ASTM D 3177-2002. Dalam penelitian ini pengujian XRF dilakukan pada sampel arang batok kelapa.

c. *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.

d. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) dilakukan untuk mengetahui struktur mikro 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.

e. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Pada pengujian FTIR ini dilakukan di laboratorium Departemen Kimia FMIPA ITS. Pada pengujian FTIR ini bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi dari suatu material

komposit. Pada penelitian ini sampel yang diuji adalah sampel rGO/Glukosa dengan pengenceran HCl. Pada pengujian ini akan diketahui ikatan molekul dari sampel rGO serta untuk melihat apakah unsur Cl pada proses pengenceran HCl masih tertinggal di antara lapisan dari rGO.

f. *Cyclic Voltametry (CV)*

Karakterisasi sifat kapasitansi dilakukan oleh uji *cyclic voltammety*. 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 :

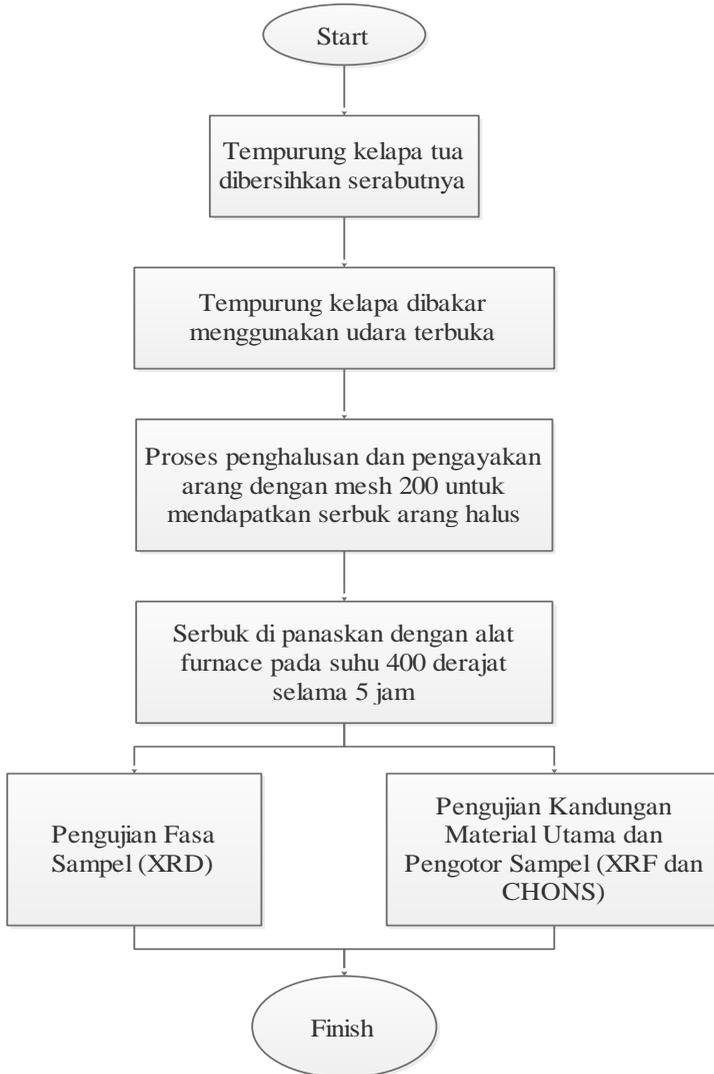
$$C = \frac{Z}{mv} \int_{V_1}^{V_2} I(V)dV \tag{3.1}$$

$$W = \frac{1}{2} CV^2 \tag{3.2}$$

- | | |
|--------------------------------|---|
| C = kapasitansi spesifik (F/g) | I (V) = persamaan respon arus terhadap tegangan |
| m = massa elektroda (g) | V ₂ = Potensial window atas (V) |
| v = scan rate (V/s) | Z = Faktor impedansi |
| W = rapat energi (J/g) | V ₁ = Potensial window bawah(V) |

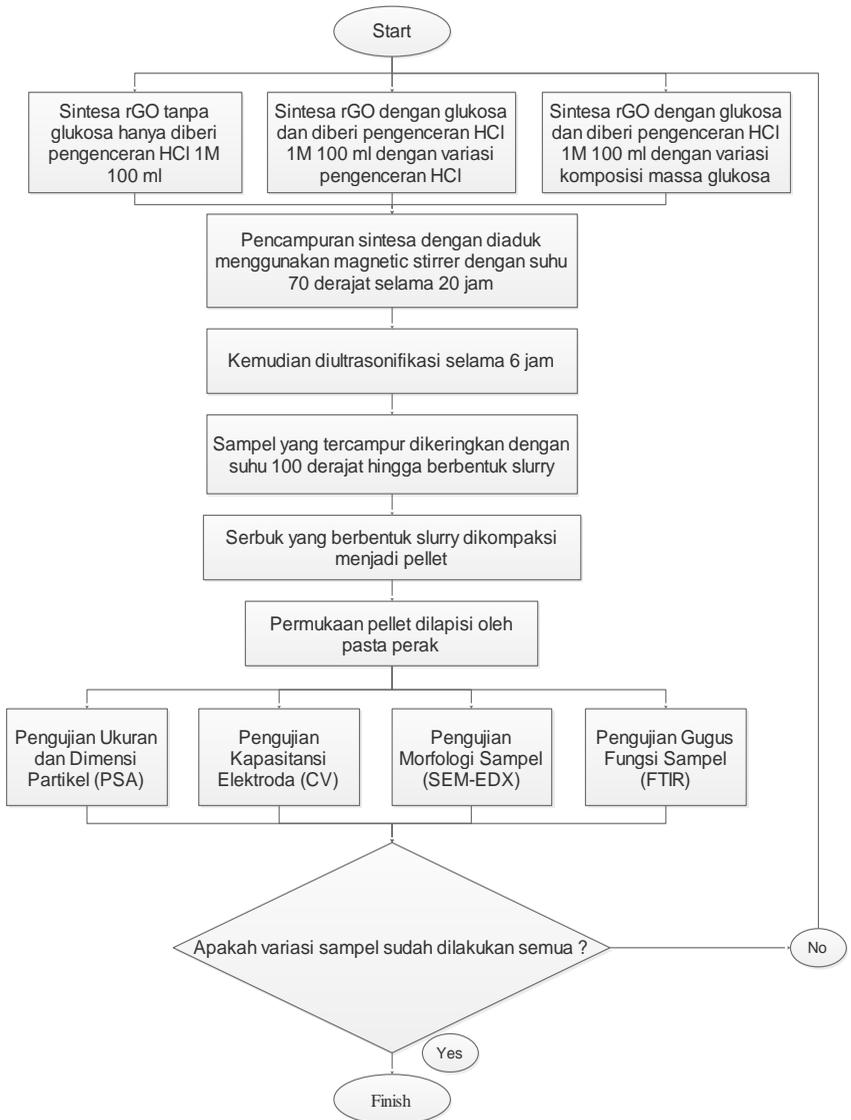
3.4 Diagram Alir Penelitian

3.4.1 Pembuatan Serbuk rGO Tempurung Kelapa



Gambar 3. 1 Diagram alir pembuatan serbuk rGO

3.4.2 Pembuatan Elektroda Superkapasitor



Gambar 3. 2 Diagram alir pembuatan elektroda superkapasitor

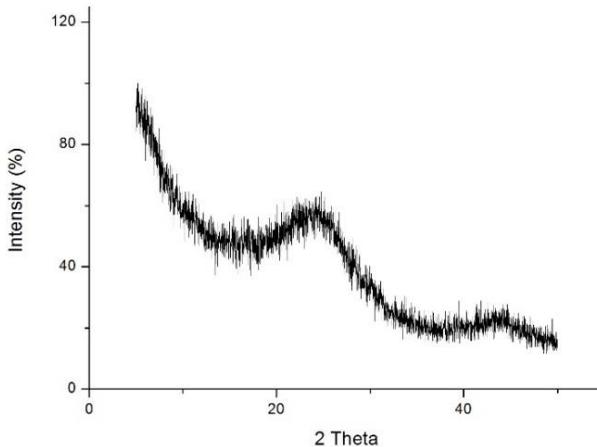
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Bahan Dasar

4.1.1 Analisis Fasa rGO

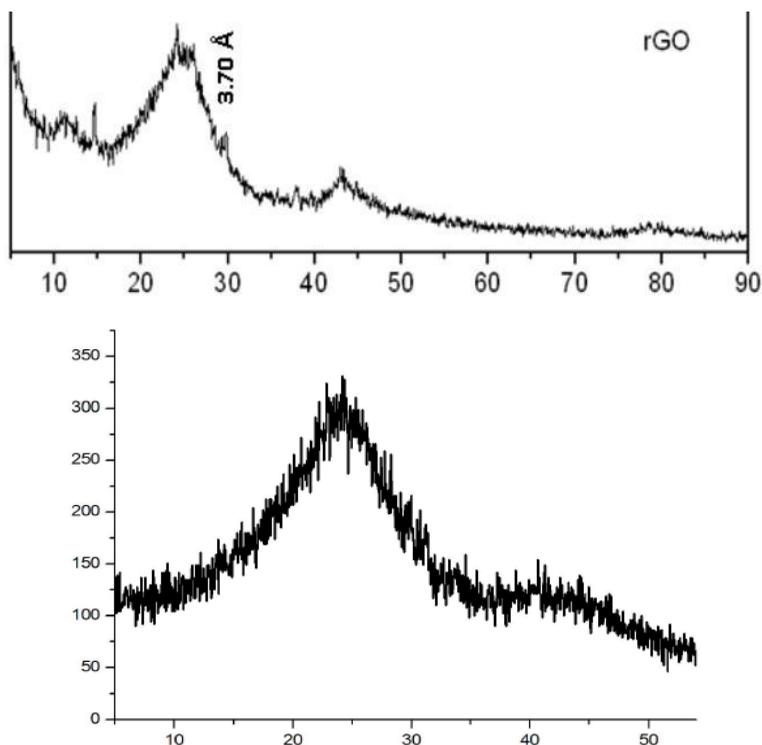
Analisis fasa dari bahan dasar rGO di karakterisasi dengan rentang sudut 5° - 50° dan panjang gelombang 1.54060 \AA CuK α . Hasil pola difraksi ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik pola XRD pada serbuk rGO

Pada pengujian XRD terdapat dua puncak yang lebar yaitu pada sudut 25° dan 44° . Pada Gambar 4.2 itu adalah pola difraksi rGO referensi dimana jika membandingkan pola difraksi yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan pola difraksi yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 memiliki kemiripan yang sama yaitu dua puncak lebar yang berada pada sudut 25° dan 44° . Jadi pola difraksi yang

tunjukkan pada Gambar 4.1 pada serbuk arang tempurung kelapa mempunyai fasa rGO.



Gambar 4. 2 (a) Pola difraksi referensi untuk rGO (Fu et al, 2013), (b) pola difraksi referensi rGO tempurung kelapa tua (Nugraheni, 2015)

4.1.2 Analisis Komposisi Unsur rGO

Karakterisasi untuk menentukan komposisi unsur dari bahan dasar rGO dilakukan dengan dua kali pengujian. Serbuk rGO yang dikarakterisasi dengan pengujian tersebut tujuannya untuk mengetahui komposisi unsur yang terkandung dalam material.

Untuk pengujian analisis CHONS untuk mengetahui komposisi unsur utama dari material rGO sedangkan pengujian XRF untuk mengetahui unsur pengotor dari material rGO. Dan berikut adalah persentase dari masing-masing unsur yang terdapat di material rGO.

Tabel 4. 1 Persentase unsur material serbuk rGO tempurung kelapa tua

Komponen	Persentase Total (%)
C	81,48
H	7,61
O	9,02
N	0,532
S	0,012
P	0,023
K	0,875
Ti	0,003
Fe	0,040
Ni	0,030
Zn	0,013
Rb	0,010
Ba	0,025
Re	0,008
Os	0,007
Cu	0,046
TOTAL	99,734

Dalam Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa terdapat beberapa persentase unsur dari material serbuk rGO tempurung kelapa tua.

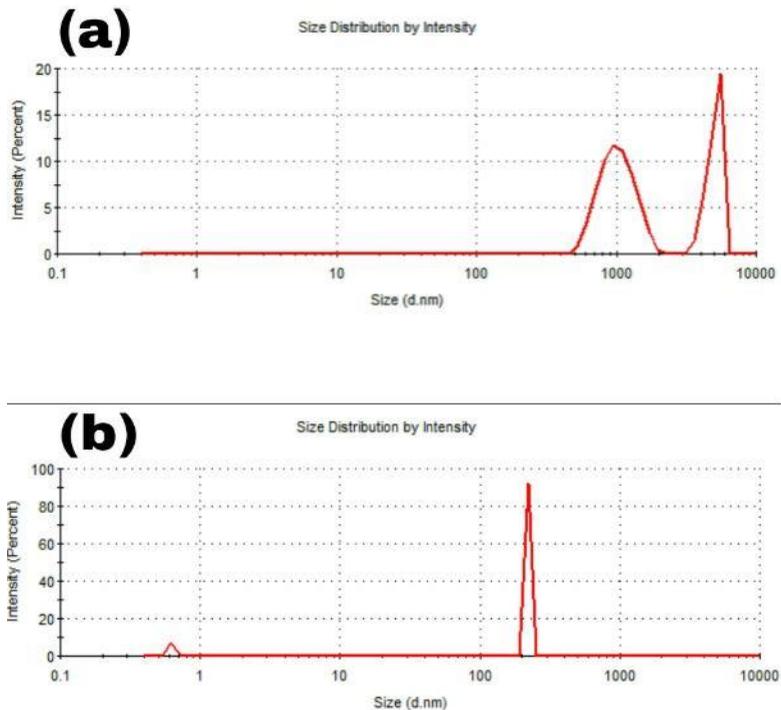
Dari beberapa unsur tersebut diketahui bahwa unsur karbon memiliki persentase yang lebih besar dari unsur yang lainnya. Kemudian disusul dengan unsur oksigen dan hidrogen yang mempunyai persentase massa dan atom yang besar juga. Adanya unsur karbon, oksigen, dan hidrogen yang tinggi menandakan bahwa material serbuk rGO tempurung kelapa tua merupakan bahan yang organik. Sementara itu untuk unsur yang lain merupakan impuritas atau unsur pengotor dari material serbuk rGO.

Unsur karbon dengan hidrogen dapat membentuk senyawa karbohidrat berupa material selulosa yang terdiri dari polisakarida yang terdekomposisi. Selain itu karbon dan hidrogen juga dapat membentuk senyawa lignin yang merupakan senyawa non karbohidrat yang terdiri dari amorf makromolekul polifenol yang susah terdekomposisi. Selulosa dan lignin merupakan senyawa terbanyak yang terdapat di tempurung kelapa (Suhartana 2006). Perbandingan (rasio) atom karbon terhadap atom oksigen sekitar 1,5:1. Rasio ini mendekati rasio yang dimiliki oleh material grafena oksida tereduksi. Sementara untuk unsur yang lainnya adalah pengotor dari material serbuk rGO. Unsur pengotor ini memiliki persentase di bawah 1%. Unsur pengotor ini terkandung di dalam tanah dan diserap oleh pohon kelapa melalui pembuluh *xylem* yang adalah pembuluh yang terdapat pada tumbuhan yang berfungsi untuk mengangkut zat hara yang terdapat di dalam tanah melalui akar dan kemudian disebar di seluruh bagian tumbuhan (Nasrullah, 2014).

4.1.3 Analisis Ukuran Partikel Bahan Dasar

Karakterisasi ukuran partikel rGO dan glukosa dilakukan dengan pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA). Pada pengujian ini

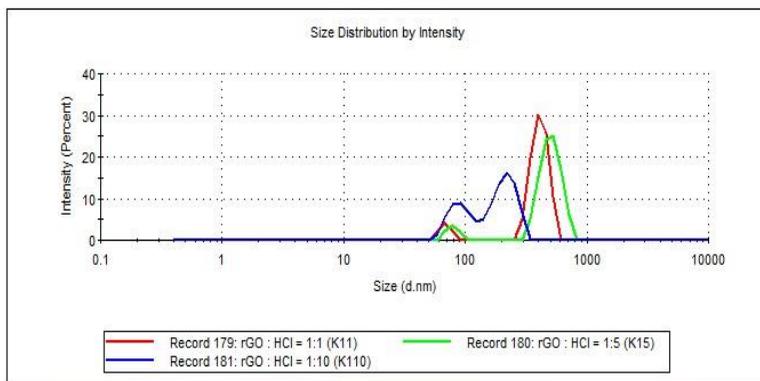
dilakukan pada dua sampel yaitu pada rGO dan glukosa. Pada sampel rGO yang sudah dilakukan oleh penelitian sebelumnya (Hidayat 2016) di dapatkan hasil ukuran rata-rata partikel sebesar 300 nm dengan rentang ukuran antara 150 nm sampai 550 nm. Hasil pengujian PSA dari sampel rGO tanpa perlakuan dan glukosa yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Hasil uji PSA sampel rGO (a) dan sampel glukosa (b)

Pada hasil pengujian bahan dasar rGO memiliki ukuran partikel yang relatif masih besar dimana pada grafik Gambar 4.3 (a) terdapat dua puncak yang sama – sama berada di rentang

puncak lebih dari 100 nm. Puncak pertama menunjukkan ukuran rata – rata partikel 900 nm dengan rentang puncak 700 – 1300 nm, untuk puncak kedua lebih besar yaitu berada pada puncak 7000 nm dengan rentang puncak 4000 – 8000 nm. Sedangkan untuk sampel glukosa yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 (b), pada sampel ini memiliki dua puncak juga yaitu pada puncak pertama puncak kecil yang memiliki ukuran rata – rata partikel di bawah 1 nm yaitu sebesar 0.6 nm dengan rentang puncak 0.5 – 0.7 nm dan puncak kedua yang memiliki ukuran partikel rata – rata 400 nm dengan rentang puncak 300 – 500 nm. Ukuran partikel yang masih relatif besar untuk rGO, oleh karena itu dilakukan metode eksfoliasi secara kimia yaitu dengan menambahkan larutan asam HCl dimana tujuannya adalah untuk menyayat lapisan rGO dan melemahkan ikatan *van der waals* antar lapisan dari rGO sehingga membuat ukuran partikel lebih kecil. Oleh karena itu pada penelitian ini rGO diberi perlakuan eksfoliasi mekanik dan kimia dengan penambahan larutan asam HCl dan hasil pengujian PSA ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4. 4 Hasil uji PSA sampel rGO dengan pengenceran HCl

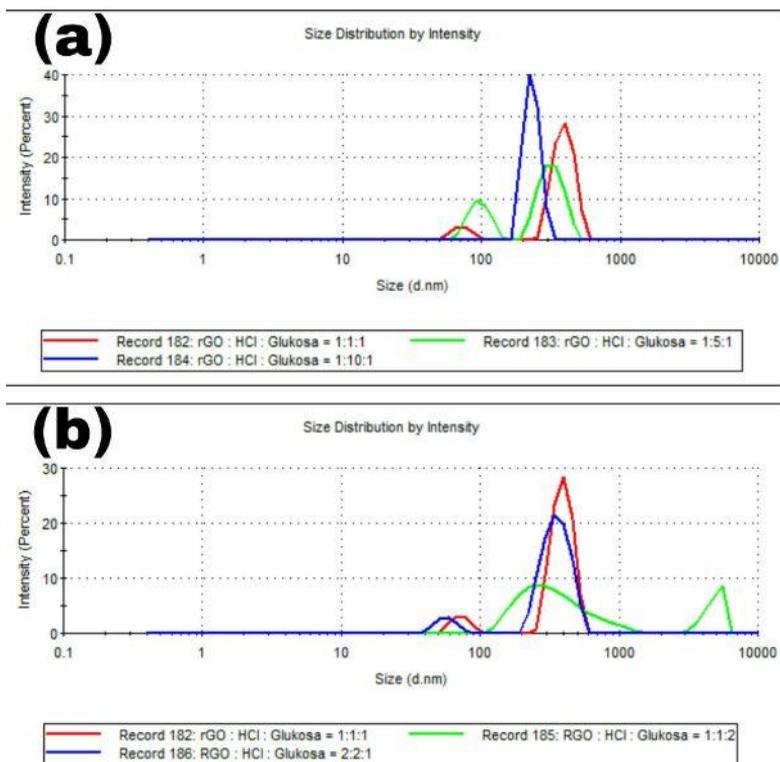
Atom – atom pada Cl pada senyawa HCl telah terputus ikatannya dengan atom hidrogen dan tersubstitusi di antara ikatan lemah *van der waals* pada lapisan rGO. Atom Cl saling berikatan dengan atom karbon (C) dan atom hidrogen (H) berikatan dengan atom oksigen (O) dan pada akhirnya atom – atom karbon akan hilang sebagian dalam bentuk gas selama proses pengadukan. Proses pengadukan dengan adanya perlakuan termal (70°C) memberikan tambahan energi yang mengakibatkan atom – atom Cl terlepas dari atom hidrogen dan menyisip diantara lapisan rGO dan berikatan dengan atom karbon membentuk ikatan C-Cl. Tersubstitusinya atom Cl di antara lapisan rGO merusak jarak antar lapisan rGO dan membuat jarak antar lapisan rGO menjadi renggang. Dengan adanya penyayatan dari energi getaran yang dihasilkan selama proses ultrasonikasi mampu membuat ikatan lemah *van der waals* terputus sehingga lapisan menjadi semakin tipis dan hal itu dibuktikan dengan munculnya dua puncak pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 seperti penelitian yang sudah dilakukan oleh Nugraheni, 2017. Pada grafik adanya variasi rGO dengan pengenceran HCl yaitu 1:1, 1:5, 1:10. Dari ketiga variasi hasil yang paling baik itu pada variasi 1:1 dimana memiliki puncak pertama dengan ukuran partikel rata-rata 70 nm dengan rentang puncak 60 – 90 nm dan puncak kedua dengan ukuran partikel rata-rata 600 nm dengan rentang puncak 400 – 800 nm.

4.2 Analisis Bahan Komposit rGO/Glukosa

4.2.1 Analisis Ukuran Partikel Bahan Komposit

Karakterisasi ukuran partikel bahan komposit rGO/glukosa dilakukan dengan pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA). Pada pengujian PSA bahan komposit ini ada 2 sampel yaitu sampel rGO/glukosa variasi pengenceran HCl dan rGO/glukosa variasi

komposisi massa. Hasil pengujian PSA dari kedua sampel ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Hasil pengujian PSA sampel rGO/glukosa variasi pengenceran HCl (a) dan sampel rGO/glukosa variasi komposisi massa glukosa (b)

Pada Gambar 4.5 (a) adalah grafik yang menunjukkan distribusi partikel dari sampel rGO/glukosa dengan variasi pengenceran HCl. Dari grafik ditunjukkan bahwa variasi perbandingan HCl : rGO : Glukosa pada perbandingan 1:1:1 (merah) dan perbandingan 5:1:1 (hijau) menunjukkan adanya dua

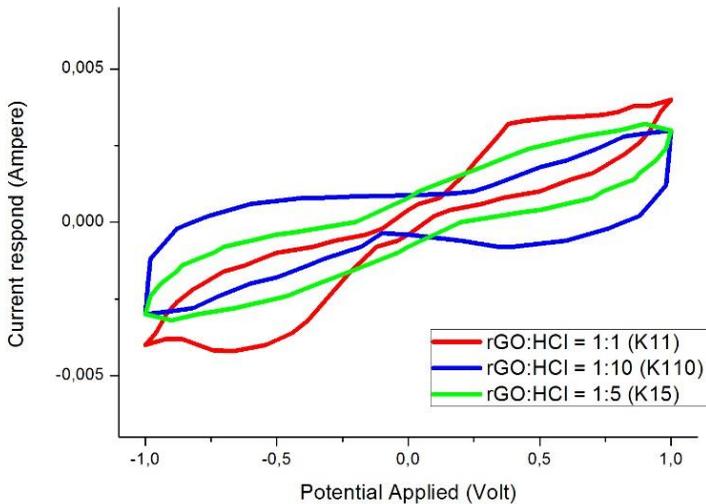
puncak. Untuk perbandingan 10:1:1 (biru) hanya menunjukkan satu puncak saja, hal ini membuktikan bahwa jika terlalu banyak pemberian larutan asam dalam proses pencampuran maka membuat atom – atom Cl yang tersubstitusi di antara ikatan lemah *van der waals* terlalu banyak sehingga membuat atom – atom Cl tersebut tidak hanya merusak jarak antar lapisan namun malah bereaksi dengan atom – atom C dan menggumpal. Adanya material glukosa juga berpengaruh terhadap distribusi ukuran partikelnya meskipun mempunyai perbandingan yang sama dengan material rGO, glukosa pada penelitian ini berperan sebagai *spacer*. Jadi ketika atom Cl merusak jarak antar lapisan rGO, glukosa masuk di antara lapisan yang berfungsi untuk mencegah terjadinya aglomerasi antar lapisan rGO tersebut, oleh karena itu adanya variasi perbandingan komposisi massa antara rGO dengan glukosa. Dari variasi pengenceran HCl diambil hasil yang terbaik yaitu 1:1:1 untuk diberi perlakuan variasi perbandingan komposisi massa antar rGO dengan glukosa.

Pada variasi perbandingan komposisi massa yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 (b) untuk setiap variasi menunjukkan adanya dua puncak. Dari ketiga variasi yang menunjukkan distribusi ukuran partikel di bawah 100 nm hanya pada variasi 1:1:1 (R11) dan 2:2:1 (R21) sedangkan pada variasi 1:1:2 (R12) distribusi ukuran partikelnya di atas 100 nm pada puncak pertamanya dan di atas 1000 nm pada puncak keduanya. Hal itu menunjukkan dengan penambahan material glukosa yang terlalu banyak memberikan ukuran partikelnya lebih besar karena pada saat atom – atom Cl tersubstitusi di antara lapisan rGO dan merusak jarak antar lapisan, material glukosa yang terlalu banyak jumlahnya menyisip di antara lapisan dan membuat lapisan tersebut menggumpal. Jadi bukannya membentuk lapisan yang tipis karena adanya material glukosa yang berlebihan membentuk

lapisan yang menggumpal dan tebal. Untuk variasi 1:1:1 dan 2:2:1 memiliki dua puncak dengan puncak pertama berada di bawah 100 nm dan puncak kedua di bawah 1000 nm. Namun di antara kedua variasi tersebut yang memiliki ukuran partikel rata – rata yang kecil ada pada variasi 2:2:1, hal itu membuktikan bahwa dengan pemberian material glukosa yang sedikit dan lebih sedikit komposisi massanya dari material rGO memberikan hasil distribusi ukuran partikel yang bagus. Jadi ketika atom Cl tersubstitusi dan merusak jarak antar lapisan rGO, material glukosa yang sedikit menyisip di antara lapisan dan hanya berperan sebagai *spacer* dan tidak membuat lapisan tersebut menggumpal sehingga terbentuklah lapisan – lapisan yang tipis dengan luas permukaan yang besar.

4.2.2 Analisis Nilai Kapasitansi Spesifik

Karakterisasi nilai kapasitansi spesifik pada sampel rGO tanpa glukosa dan rGO/glukosa dilakukan dengan pengujian *cyclic voltammetry*. Pada pengujian ini sampel yang di uji adalah sampel rGO pengenceran HCl tanpa glukosa (kontrol), rGO/glukosa dengan variasi pengenceran HCl, dan rGO/glukosa dengan variasi komposisi massa serta *scan rate* yang digunakan adalah *scan rate* 50 mV. Hasil pengukuran CV dapat dihitung nilai kapasitansinya menggunakan Persamaan 3.1. Menurut persamaan tersebut apabila luasan yang dilingkupi oleh plot CV yang dihasilkan semakin besar maka semakin besar pula kapasitansi yang dihasilkan. Hal ini terjadi apabila dibuat massa elektroda dan *scan rate* yang digunakan dibuat konstan. Hasil pengujian CV ditunjukkan pada Gambar 4.6, Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.

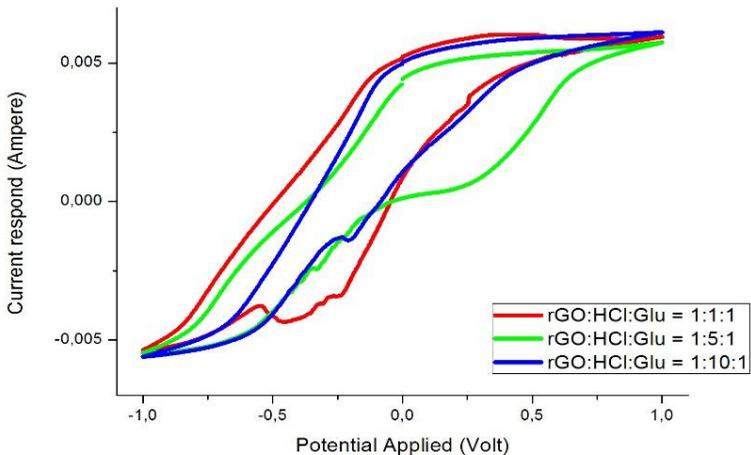


Gambar 4. 6 Grafik pengujian CV sampel rGO pengenceran HCl tanpa glukosa (kontrol)

Pada Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengujian *cyclic voltammetry* pada sampel rGO pengenceran HCl tanpa glukosa dengan scan rate 50 mV. Pada kurva ini menunjukkan dua karakteristik yang penting yaitu memiliki celah yang lebar dan tidak adanya gundukan dan cekungan yang terjadi. Adanya gundukan dan cekungan yang terjadi menunjukkan bahwa adanya proses reaksi kimia oksidasi dan reduksi antara permukaan elektroda rGO dengan larutan elektrolit KOH. Adanya gundukan ini disebabkan karena adanya reaksi larutan elektrolit dengan ikatan utama dari rGO, dimana ciri dari rGO adanya ikatan yaitu C-H, C-O, C=O, dan OH. Kurva yang lebar dan disertai adanya penambahan gundukan yang memperluas daerah kurva diharapkan mampu menambah nilai kapasitansinya (Hidayat, 2016). Pada

kurva terlihat pada Gambar 4.6 yang memiliki lebar celah yang luas ada pada variasi perbandingan 1:1 (merah) dan 1:10 yang dibuktikan dengan nilai kapasitansinya sebesar 20,8 F/g dan 21,3 F/g, dan variasi perbandingan 1:5 (hijau) nilai kapasitansinya 17,4 F/g. Jadi dengan adanya lebar celah yang disertai gundukan yang mampu memperluas daerah kurva yang terlihat di kurva perbandingan 1:1 dan kurva perbandingan 1:10 sehingga menjadikan nilai kapasitansinya jauh lebih besar daripada kurva yang tidak memiliki gundukan dengan daerah kurva yang tidak luas. Jika dikorelasikan dengan hasil pengujian ukuran partikel pada sampel ini yang terlihat pada Gambar 4.4, dimana pada perbandingan 1:1 memiliki ukuran partikel rata – rata yang lebih kecil dari pada variasi perbandingan yang lain.

Untuk membuat distribusi ukuran partikel menjadi kecil, proses eksfoliasi dengan larutan HCl juga berperan penting karena adanya proses eksfoliasi tersebut dimana unsur Cl yang menyisip dengan baik di antara lapisan rGO membantu melemahkan ikatan antar lapisan rGO sehingga distribusi ukuran partikelnya kecil. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Hidayat,2016) dimana nilai kapasitansi rGO tempurung kelapa tanpa proses eksfoliasi kimia menunjukkan 13 F/g sedangkan untuk penelitian ini rGO tempurung kelapa dengan proses eksfoliasi kimia yaitu pengenceran HCl menunjukkan hasil yang terbaik pada variasi 1:10 (RK110) yaitu sebesar 21,3 F/g. Meskipun penambahan nilai kapasitansinya tidak terlalu signifikan namun tetap saja adanya proses eksfoliasi kimia yaitu penambahan larutan asam HCl pada rGO tempurung kelapa membantu meningkatkan nilai kapasitansi dari rGO tempurung kelapa.

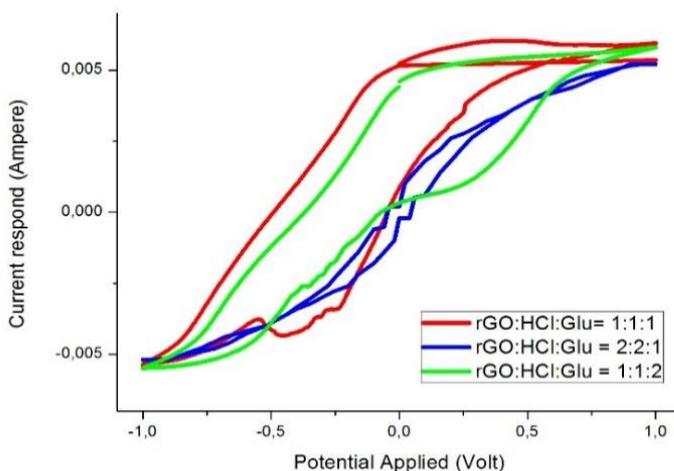


Gambar 4. 7 Grafik pengujian CV sampel rGO/glukosa variasi pengenceran HCl

Pada Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengujian *cyclic voltammetry* untuk sampel rGO/glukosa dengan variasi pengenceran HCl. Pada pengujian CV ini *scan rate* yang digunakan juga sama yaitu 50 mV. Pada kurva terlihat yang memiliki lebar celah yang besar yaitu pada arus 0 sampai 0.005 dengan gundukan, cekungan yang banyak serta luasan kurva yang lebar yaitu ada pada perbandingan 1:1:1 (merah) dan 1:5:1 (hijau) yaitu dengan nilai kapasitansi masing – masing sebesar 39,7 F/g dan 32,3 F/g. Sedangkan untuk perbandingan 1:10:1 (biru) memiliki luas kurva yang lebih kecil dan gundukan yang sedikit memiliki nilai kapasitansi sebesar 29,7 F/g. Pada variasi

Variasi pengenceran HCl dengan material komposit rGO/glukosa dimana perbandingan 1:1:1 memberikan hasil kapasitansi yang lebih besar dari variasi yang lain. Hal itu

menunjukkan adanya atom – atom Cl yang menyisip dengan baik di antara lapisan rGO sehingga melemahkan ikatan *van der waals* pada lapisan rGO dan dengan ditambahkan molekul glukosa yang berperan sebagai *spacer* membantu rGO tersebut memiliki luas permukaan yang semakin besar. Namun pada penelitian ini tidak diuji luas permukaan dari bahan elektroda superkapasitor, hanya diuji distribusi partikel dari bahan elektroda tersebut. Dengan distribusi ukuran partikel yang berukuran semakin kecil dapat diartikan luas permukaan dari bahan elektroda tersebut semakin luas dan tentunya nilai kapasitansinya juga semakin besar.



Gambar 4. 8 Grafik pengujian CV sampel rGO/glukosa variasi komposisi massa

Pada Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengujian *cyclic voltammetry* untuk sampel rGO/glukosa variasi komposisi massa glukosa. Pada sampel ini pengenceran HCl diberi perbandingan yang sama dengan rGO jadi yang di variasi hanya perbandingan

komposisi massa rGO dengan glukosa. Pada kurva Gambar 4.8 terlihat bahwa pada perbandingan 1:1:1 (merah) memiliki lebar celah yang besar dan disertai adanya gundukan dimana dihasilkan nilai kapasitansi sebesar 39,7 F/g. Untuk perbandingan 2:2:1 (biru) dimana rGO memiliki perbandingan komposisi massanya lebih banyak dari glukosa memiliki nilai kapasitansi sebesar 22,8 F/g. Sedangkan untuk perbandingan 1:1:2 (hijau) dimana glukosa perbandingan komposisi massa lebih banyak dari rGO memiliki nilai kapasitansi sebesar 24 F/g. Dari semua hasil pengujian *cyclic voltammetry* dengan menghasilkan nilai kapasitansi spesifik dan rapat energi dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 4. 2 Nilai kapasitansi spesifik dan rapat energi pada setiap sampel dan variasi perbandingan

Sampel	Variasi	Nilai kapasitansi (F/g)	Rapat Energi (Wh/g)
rGO tanpa glukosa variasi pengenceran HCl	Perbandingan rGO:HCl 1:1 (RK11)	20,8	0,282
	Perbandingan rGO:HCl 1:5 (RK15)	17,5	0,235
	Perbandingan rGO:HCl 1:10 (RK110)	21,3	0,288
rGO/glukosa variasi pengenceran HCl	Perbandingan HCl:rGO:Glu = 1:1:1 (R11)	39,7	0,537

	Perbandingan HCl:rGO:Glu = 5:1:1 (R51)	32,3	0,437
	Perbandingan HCl:rGO:Glu = 10:1:1 (R101)	29,7	0,401
rGO/glukosa variasi komposisi massa	Perbandingan HCl:rGO:Glu = 1:1:1 (R11)	39,7	0,537
	Perbandingan HCl:rGO:Glu = 2:2:1 (R21)	22,8	0,309
	Perbandingan HCl:rGO:Glu = 1:1:2 (R12)	24,0	0,325

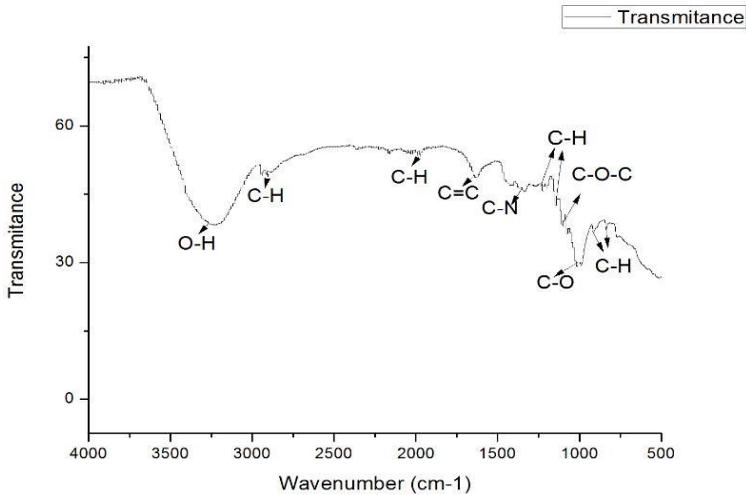
Pada Tabel 4.2 ditampilkan hasil nilai kapasitansi spesifik dan rapat energi untuk setiap sampel dan variasi perbandingan. Pada tabel untuk sampel rGO tanpa glukosa dengan variasi pengenceran HCl nilai kapasitansi terbesar pada perbandingan 1:10 (RK110), untuk sampel rGO/glukosa dengan variasi pengenceran HCl nilai kapasitansi terbesar pada perbandingan 1:1:1 (R11), dan untuk sampel rGO/glukosa dengan variasi komposisi massa nilai kapasitansi terbesar pada perbandingan 1:1:1 (R11). Dari semua hasil tersebut dapat diketahui bahwa adanya penambahan glukosa pada sampel rGO membantu meningkatkan nilai kapasitansi dibandingkan dengan rGO tanpa glukosa namun komposisi massa yang lebih banyak dari rGO membuat nilai kapasitansinya lebih rendah daripada sampel dengan komposisi massa rGO dan glukosa yang sama. Sedangkan untuk sampel rGO dengan glukosa variasi pengenceran HCl dengan perbandingan mol yang terlalu banyak

membuat nilai kapasitansinya lebih rendah dibanding dengan perbandingan molaritas yang sama. Jadi dari semua variasi yang memiliki nilai kapasitansi yang bagus ada pada sampel rGO/glukosa dengan variasi pengenceran HCl 1:1:1 (R11) dengan nilai kapasitansi 39,7 F/g.

Untuk rapat energinya didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan persamaan 3.2. Kisaran nilai rapat energi pada superkapasitor dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5 yaitu antara 0.1 – 10 Wh/g. Untuk superkapasitor jenis EDLC kisaran nilai rapat energinya berada pada 0.1 – 5 Wh/g. Hasil perhitungan nilai rapat energi untuk semua sampel nilainya berada di atas 0.1 Wh/g semua. Jadi dapat disimpulkan bahwa bahan elektroda yang telah diuji ini memiliki karakterisasi yang sesuai dengan jenis bahan elektroda pada superkapasitor jenis EDLC.

4.2.3 Analisis Ikatan Molekul Bahan Komposit

Karakterisasi gugus fungsi atau ikatan kimia dilakukan dengan alat karakterisasi FTIR (*fourier transform infra-red*). Ikatan – ikatan molekul yang muncul ditunjukkan dengan adanya puncak – puncak transmitasi dari pola grafik FTIR. Masing – masing ikatan molekul memiliki bilangan gelombang yang berbeda didasarkan pada kemampuan ikatan molekul yang bergetar dan menyerap energi dari spektrum inframerah. Pada pengujian ikatan molekul atau gugus fungsi sampel yang diuji adalah sampel yang memiliki nilai kapasitansi terbaik yaitu pada sampel rGO dengan glukosa dengan perbandingan 1:1:1 (R11). Grafik pengujian FTIR ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Grafik pengujian FTIR sampel R11

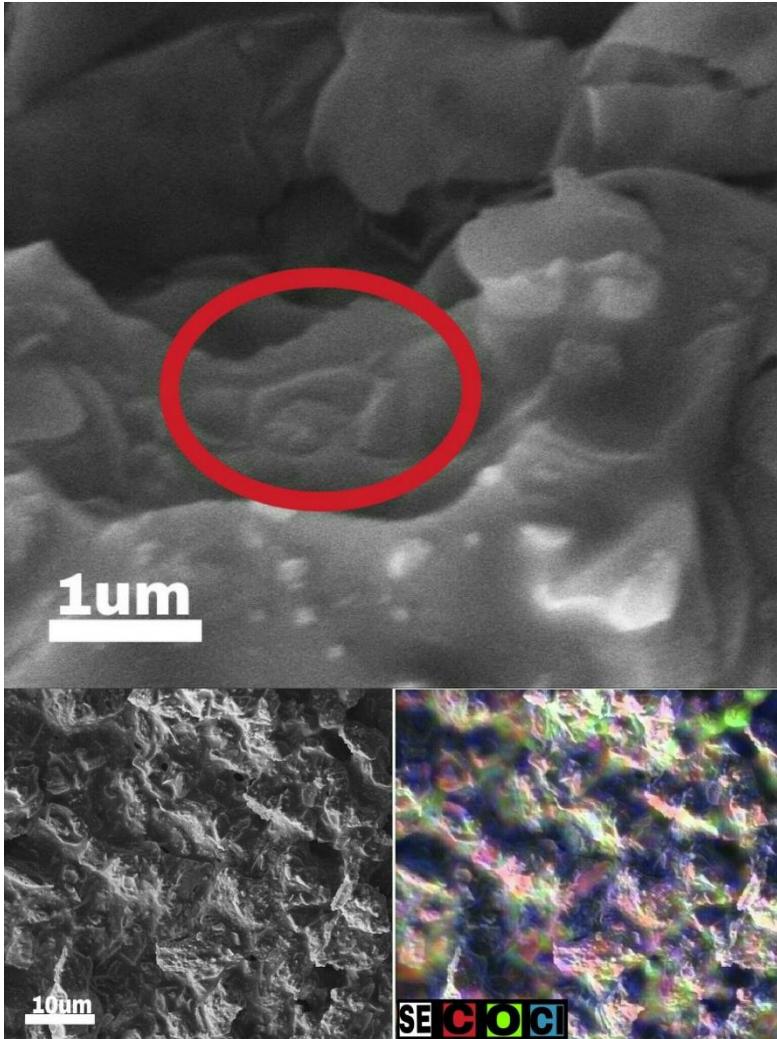
Pada Gambar 4.9 terlihat spektrum transmitansi dari sampel dan terlihat terdapat 11 puncak gugus fungsi. Ada 9 puncak dengan transmitansi sedang yaitu pada *range* panjang gelombang 3500 – 1000 cm^{-1} . Sedangkan terdapat dua puncak transmitansi rendah pada panjang gelombang di bawahh 1000 cm^{-1} . Hasil pola FTIR secara kualitatif pada sampel R11 ditunjukkan bahwa teridentifikasinya ikatan – ikatan molekul utama dari material rGO yaitu berupa ikatan C=C, C-H dan O-H. Ikatan – ikatan tersebut saling berikatan membentuk struktur heksagonal atom karbon yang tersusun menjadi lapisan rGO. Ikatan C=C merupakan struktur dasar dari material rGO yang saling berikatan dan membentuk struktur heksagonal dimana adanya ikatan rangkap merupakan ikatan kovalen yang terbentuk dari hibridisasi sp^3 berubah menjadi sp^2 dan memiliki energi besar yang menyebabkan sulit untuk terputus. Adanya atom – atom hidrogen dan oksigen disebabkan karena adanya proses oksidasi selama proses

pemanasan. Banyaknya ikatan yang terbentuk menunjukkan masih banyaknya atom – atom oksigen dan hidrogen yang berikatan dengan atom karbon. Hal ini terjadi karena selama proses pengadukan dengan penambahan temperatur, tambahan energi yang dihasilkan tidak dapat memutuskan energi ikatan dari atom karbon dengan oksigen atau dengan hidrogen (Nugraheni, 2017).

Pada pengujian ini seharusnya terdapat ikatan C-Cl seperti penelitian yang sudah dilakukan oleh (Nugraheni, 2017), namun karena bilangan gelombangnya rendah yaitu sekitar 400 cm^{-1} sehingga tidak terdeteksi. Sedangkan terdapat ikatan molekul C-N, hal itu karena atom N sendiri merupakan unsur impuritas dari material rGO yang memiliki persentase terbesar di antara unsur impuritas lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.1. Oleh karena dapat terjadinya ikatan molekul C-N.

4.2.4 Analisis Morfologi Bahan Komposit

Karakterisasi morfologi pada bahan komposit dilakukan dengan alat *scanning electron microscope-energy dispersive x-ray* (SEM-EDX). Karakterisasi ini dilakukan pada sampel rGO dengan glukosa dengan perbandingan 1:1:1 dimana pada sampel ini memiliki nilai kapasitansi tertinggi yaitu 39,7 F/g. Hasil pengujian SEM ditunjukkan pada Gambar 4.10. Pada sampel bahan komposit rGO/glukosa ini metode yang digunakan adalah metode *wet mixing*. Pengujian SEM dilakukan dengan 2x perbesaran yaitu dari 1000 dan 20000 perbesaran. Grain dari material glukosa terdistribusi secara merata pada material rGO.



Gambar 4. 10 Hasil pengujian morfologi sampel R11 perbesaran 1000 (a), perbesaran 20000 (b) EDX

Pada Gambar 4.10 (b) yang ditunjukkan lingkaran merah terlihat bahwa lapisan rGO yang sudah tipis dan diselimuti oleh partikel lain, partikel lain ini merupakan partikel glukosa yang menyelimuti dan menyisip di antara lapisan rGO. Namun masih terlihat juga bagian yang berupa bongkahan yang menandakan bahwa rGO masih perlu disayat lebih lanjut. Jadi rGO yang terbentuk bukan rGO *sheet* namun lebih ke bentuk rGO bongkahan (*flakes*).

Pada Gambar 4.10 (c) menunjukkan adanya pemetaan unsur dari sampel, yang mana terlihat bahwa unsur Cl (klorida) yang berwarna biru tersebar merata dengan sempurna. Tidak adanya ikatan baru yang terbentuk antar atom karbon dengan atom klorida yang ditandakan dengan tidak adanya warna lain di antara klorida (biru) dan karbon (merah). Terlihat juga atom karbon tersebar secara merata yang menunjukan material serbuk memiliki persebaran yang baik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- a. Adanya pengenceran larutan asam HCl pada proses eksfoliasi secara kimia memberikan hasil yang lebih baik dari penelitian sebelumnya, baik hasil dari distribusi ukuran partikel material rGO maupun nilai kapasitansi spesifik bahan elektroda berbasis rGO tempurung kelapa tua. Namun pemberian larutan HCl yang terlalu banyak dapat merusak lapisan rGO dan menurunkan nilai kapasitansi spesifik pada superkapasitor tersebut.
- b. Adanya penambahan material glukosa sebagai *spacer* pada pencampuran rGO/glukosa menghasilkan nilai kapasitansi spesifik yang cukup tinggi pada bahan elektroda superkapasitor. Namun massa glukosa yang terlalu banyak dapat menurunkan nilai kapasitansi spesifik pada superkapasitor.
- c. Hasil kapasitansi spesifik terbaik ada pada perbandingan HCl : rGO : Glukosa = 1 : 1 : 1 yaitu sebesar 39,7 F/g dengan rapat energy 0,537 Wh/g.

5.2 Saran

Pada penelitian ini dapat dilakukan beberapa hal yang dapat dijadikan pengembangan untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut :

- a. Pada penelitian selanjutnya perlu diselidiki besar luas permukaan elektroda yang dihasilkan serta daur hidup pada elektroda
- b. Pada penelitian selanjutnya perlu diteliti metode yang lebih efektif untuk membuat rGO tempurung kelapa dengan ketebalan yang lebih tipis. Tidak hanya eksfoliasi mekanik dan kimia namun perlu ditambahkan proses eksfoliasi secara termal juga
- c. Pada penelitian selanjutnya perlu diteliti metode yang lebih baik untuk membuat pelet elektroda dalam pengujian kapasitansinya, karena pelet yang memiliki massa yang kecil, tipis namun kuat saat diuji dapat membantu dalam meningkatkan nilai kapasitansi dari elektroda tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hazmi, Farag S., Ghada H. Al-Harbi, Gary W. Beall, A.A. Al-Ghamdi, A.Y. Obaid, and Waleed E. Mahmoud. 2015. "Synthesis and Structure of High Quality Graphene Prepared via Solvothermal Exfoliation of Intercalated Graphite Flakes." *Superlattices and Microstructures* 86 (October): 270–74. doi:10.1016/j.spmi.2015.07.067.
- Burke, Andrew. 2010. "Ultrapacacitor Technologies and Application in Hybrid and Electric Vehicles." *International Journal of Energy Research* 34 (2): 133–151.
- Cheng, Ju-Hsiang, Yi-Hsiu Chen, Yun-Sheng Yeh, Sunny Hy, Liang-Ying Kuo, and Bing-Joe Hwang. 2016. "Enhancement of Electrochemical Properties by Freeze-Dried Graphene Oxide via Glucose-Assisted Reduction." *Electrochimica Acta* 197 (April): 146–51. doi:10.1016/j.electacta.2015.12.116.
- Choi et al. 2010. "Effects of Strain on Electronic Properties of Graphene." Korea: Department of Physics University of Science and Technology.
- Conway, B.E. 1999. *Electrochemical Supercapacitors : Scientific Fundamentals and Technological Applications*. New York: Kluwer-Plenum.
- Fu, Changjing, Guogang Zhao, Haijun Zhang, and Shuang Li. 2013. "Evaluation and Characterization of Reduced Graphene Oxide Nanosheets as Anode Materials for Lithium-Ion Batteries." *Int. J. Electrochem. Sci* 8: 6269–6280.
- Geim, A. K., and K. S. Novoselov. 2007. "The Rise of Graphene." Nature Publishing Group.
- Hidayat, Safril Taufik. 2016. "Sintesis Komposit Sukrosa-rGO (Grafena Oksida Tereduksi) Variasi Komposisi Massa Untuk Bahan Elektroda Superkapasitor." Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA ITS.

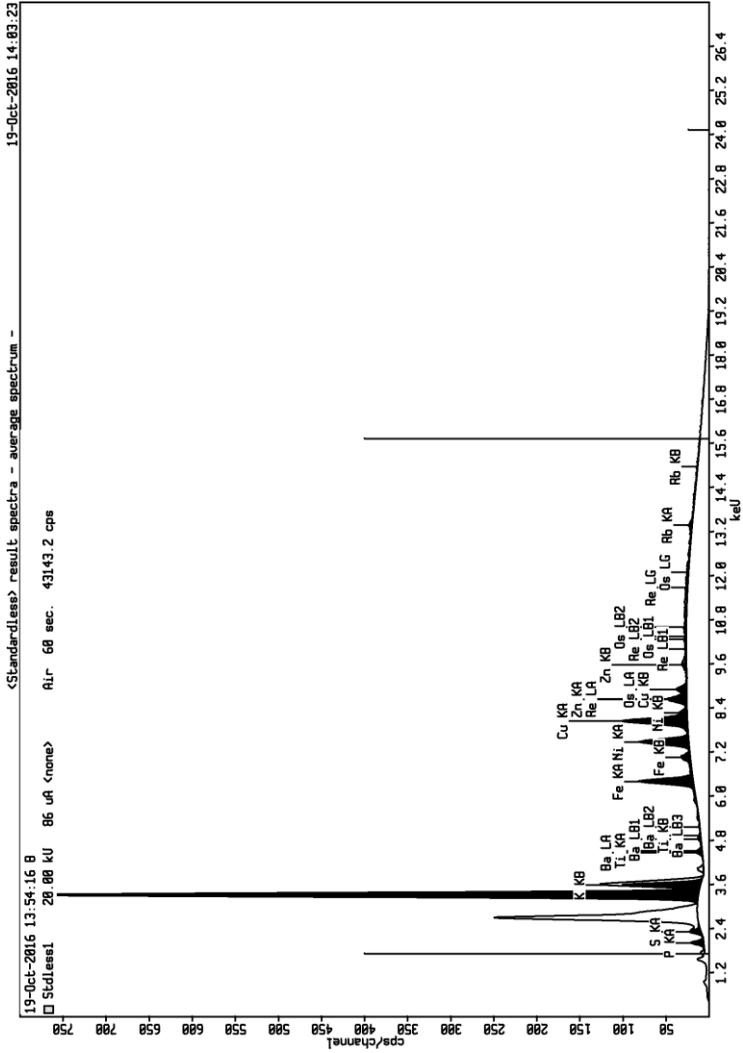
- Kim, I.H, and K.B Kim. 2001. "Ruthenium Oxide Thin Film Electrodes for Supercapacitors" 62–64.
- Kötz, R., and M. Carlen. 2000. "Principles and Applications of Electrochemical Capacitors." *Electrochimica Acta* 45 (15): 2483–2498.
- Loryuenyong, Vorrada, Krit Totepvimarn, Passakorn Eimburanaprat, Wanchai Boonchompoo, and Achanai Buasri. 2013. "Preparation and Characterization of Reduced Graphene Oxide Sheets via Water-Based Exfoliation and Reduction Methods." *Advances in Materials Science and Engineering* 2013: 1–5. doi:10.1155/2013/923403.
- Ma, Jia, Tao Xue, and Xue Qin. 2014. "Sugar-Derived Carbon/Graphene Composite Materials as Electrodes for Supercapacitors." *Electrochimica Acta* 115 (January): 566–72. doi:10.1016/j.electacta.2013.11.028.
- Maryono, dkk. 2013. "Pembuatan Dan Analisis Mutu Briket Arang Tempurung Kelapa Ditinjau Dari Kadar Kanji." Makassar: Universitas Negeri Makassar.
- Mastragostino, M, and C Arbizzani. 2001. "Polymer-Based Highpower Lithium-Ion Batteries for Power-Assist Applications in Hybrid Electric Vehicles I. Initial Characterization," 236–46.
- Nasrullah, M. 2014. "Analisis Fasa Dan Lebar Celah Pita Energi Karbon Pada Hasil Pemanasan Tempurung Kelapa." Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA ITS.
- Nugraheni, Ananda Yogi. 2017. "Analisis Struktur Grafena Oksida Tereduksi dari Tempurung Kelapa Tua dengan Hamburan Sinar-X Sudut Kecil Sinkroton (SAXS)." Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA ITS.
- Nugraheni, Ananda Yogi, Muhammad Nasrullah, Fandi Angga Prasetya, Fahmi Astuti, and Darminto. 2015. "Study on Phase,

- Molecular Bonding, and Bandgap of Reduced Graphene Oxide Prepared by Heating Coconut Shell.” *Materials Science Forum* 827(August):285–89.
- Pierson, Hugh O. 2012. *Handbook of Carbon, Graphite, Diamonds and Fullerenes: Processing, Properties and Applications*. William Andrew.
- Rampe, Meytij Jeane, Vistarani Arini Tiwow, and Henny Lieke Rampe. 2013. “Potensi Arang Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa Sebagai Material Karbon” Vol. II. No. 2 (September): Halaman 191-197.
- Simpson, Chester. 2011. *Characteristic of Rechargeable Batteries*. Dallas: Texas Instruments Incorporated.
- Suhartana, Suhartana. 2006. “Pemanfaatan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Baku Arang Aktif Dan Aplikasinya Untuk Penjernihan Air Sumur Di Desa Belor Kecamatan Ngaringan Kabupaten Grobogan.” *BERKALA FISIKA* 9 (3): 151–156.
- Tran, Minh-Hai, and Hae Kyung Jeong. 2015. “One-Pot Synthesis of Graphene/Glucose/Nickel Oxide Composite for the Supercapacitor Application.” *Electrochimica Acta* 180 (October): 679–86. doi:10.1016/j.electacta.2015.07.046.
- Wachid, Frisha marcheliana. 2013. “Analisis Kandungan Fasa Karbon Pada Proses Pemanasan Tempurung Kelapa.” Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA ITS.
- Wang, G, Sun X, Lu F, Sun H, Lu M, and Jiang W. 2012. “Flexible Pillared Graphene-Paper Electrodes for High-Performance Electrochemical Supercapacitors.” *Small* 8, 452–5

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

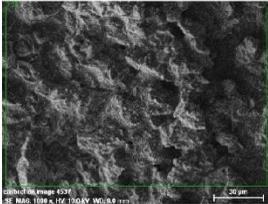
LAMPIRAN

L.1 Hasil Spektrum XRF

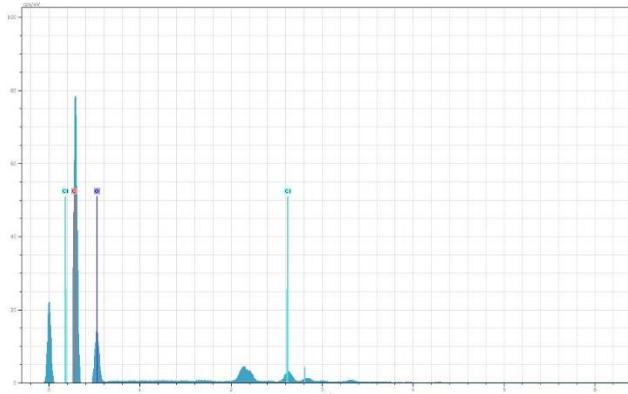


L.2 Report EDX

RG0-Glu



Calibration Image 4537 Date: 3/14/2017
 11:43:52 AM Image size: 512 x
 384 Mag: 999.99994 x HV: 10.0 kV

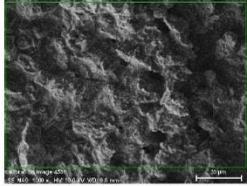


3 62 Date: 3/14/2017 11:44:46 AM HV: 10.0 kV Puls th.: 8.24 kcps

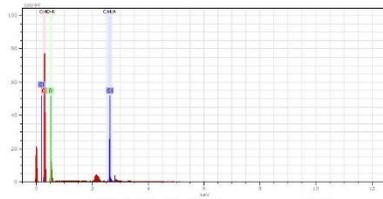
El	AN	Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
C	6	K-series	66.28	66.28	73.02	20.6
O	8	K-series	31.71	31.71	26.22	10.0
Cl	17	K-series	2.01	2.01	0.75	0.1
Total:			100.00	100.00	100.00	

3/14/2017

6. Page

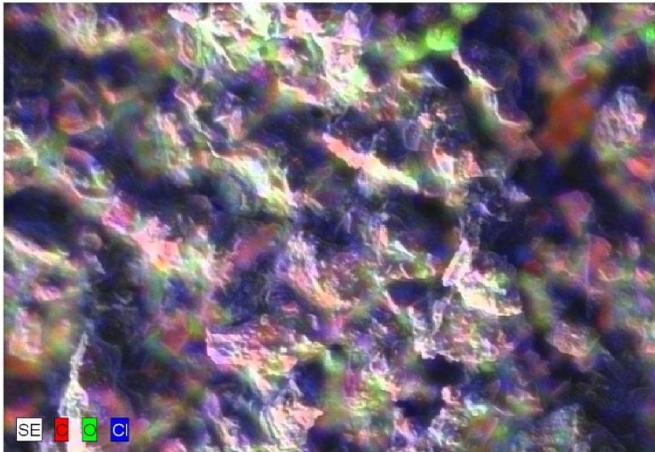


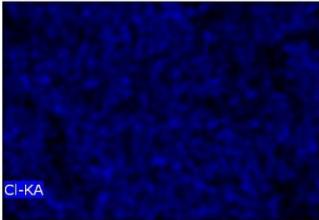
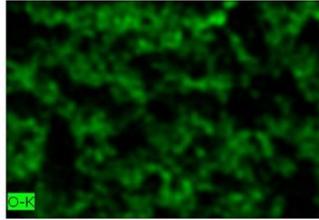
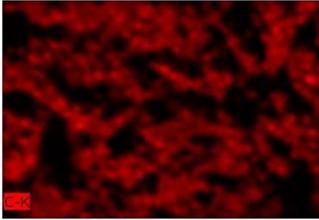
calibration image 4538 Date: 3/14/2017
11:43:52 AM Image size: 512 x
384 Mag: 999.99994x HV: 10.0kV



Map Date: 3/14/2017 11:46:15 AM HV: 10.0kV
Puls. th.: 5.77keps

calibration image 21 3550 Date: 3/14/2017 11:46:15 AM Image size: 504 x
344 Mag: 999.99994x HV: 10.0kV





C-K, O-K, Cl-KA Date: 3/14/2017 11:47:01 AM
Image size: 504 x 344
Mag: 999.99994x
HV: 10.0kV

BIODATA PENULIS



Herdy Yudha Pradana yang biasa dipanggil dengan Herdy atau Yudha merupakan Penulis dari Tugas Akhir ini. Penuli merupakan kelahiran Surabaya, 26 Desember 1994. Anak kedua dari dua bersaudara dan berdomisili di Surabaya. Penulis memulai pendidikannya di SDN Tandes Kidul II Surabaya, kemudian melanjutkan di SMPN 2 Surabaya. Pendidikan menengah ke atas dilanjutkan di SMAN 4 Surabaya. Penulis mulai aktif dalam dunia riset

sejak didanai oleh Program Keilmiahan Mahasiswa oleh DIKTI dalam bidang PKMP paada tahun 2013. Selain itu penulis juga aktif dalam dunia organisasi di dalam kampus maupun di luar kampus. Untuk di dalam kampus penulis aktif sebagai pengurus organisasi PMK ITS dan UK3MF Fisika ITS sedangkan di luar kampus penulis aktif sebagai pengurus inti KPPM GKJW Simomulyo Surabaya. Selain itu banyak kepanitiaan yang juga diikuti selama kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penelitian ini ditulis diharapkan dapat bermanfaat untuk kemajuan teknologi. Untuk kritik, saran maupun pertanyaan dapat dikirimkan melalui email herdyudhapradana94@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”