



TUGAS AKHIR - SF 141501

**SINTESIS ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DENGAN
PENGAITAN Fe^{3+} , GLUKOSA, DAN DOPING NITROGEN
MENGUNAKAN METODE *BUBBLING* PADA GRAFENA
OKSIDA TEREDUKSI DARI TEMPURUNG KELAPA TUA**

Irma Septi Ardiani
NRP 01111440000014

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Darminto

DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR - SF 141501

**SINTESIS ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DENGAN
PENGAITAN Fe^{3+} , GLUKOSA, DAN DOPING NITROGEN
MENGUNAKAN METODE *BUBBLING* PADA GRAFENA
OKSIDA TEREDUKSI DARI TEMPURUNG KELAPA TUA**

**Irma Septi Ardiani
NRP 0111144000014**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Darminto**

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**

“halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - SF 141501

**SYNTHESIS OF SUPERCAPACITOR ELECTRODE WITH
Fe³⁺ INSERTION, GLUCOSE, AND NITROGEN DOPING
USING BUBBLING METHOD EMPLOYING REDUCED
GRAPHENE OXIDE FROM OLD COCONUT SHELL**

**Irma Septi Ardiani
NRP 0111144000014**

**Supervisor
Prof. Dr. Darminto**

**Department of Physics
Faculty of Natural Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**

“halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**SINTESIS ELEKTRODA SUPERKAPASITOR
DENGAN PENGAITAN Fe³⁺, GLUKOSA, DAN
DOPING NITROGEN MENGGUNAKAN METODE
BUBBLING PADA GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI
DARI TEMPURUNG KELAPA TUA**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Fisika Material
Program Studi S1 Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

Irma Septi Ardiani
0111144000014

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr. Darminto
NIP. 19600303 198701.1.002

(.....)

Surabaya, 22 Juni 2018



“halaman ini sengaja dikosongkan”

**SINTESIS ELEKTRODA SUPERKAPASITOR
DENGAN PENGAITAN Fe³⁺, GLUKOSA, DAN
DOPING NITROGEN MENGGUNAKAN METODE
BUBBLING PADA *REDUCED GRAPHENE OXIDE*
DARI TEMPURUNG KELAPA TUA**

Nama : Irma Septi Ardiani
NRP : 0111144000014
Departemen : Fisika FIA ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Darminto

Abstrak

Penelitian ini menggunakan bahan dasar rGO dari tempurung kelapa tua. Serbuk rGO disintesis dengan 1 M HCl dan larutan FeCl₃ yang diaduk dengan pengaduk magnet pada suhu 70° C. Penambahan glukosa dan doping nitrogen dari gas nitrogen bertujuan untuk meningkatkan nilai kapasitansi spesifik dari elektroda superkapasitor selama proses eksfoliasi kimia dan mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh glukosa dan gas nitrogen dengan metode *bubbling* terhadap nilai kapasitansi dan densitas energi superkapasitor. Karakterisasi elektroda menggunakan beberapa uji. Pengujian untuk bahan dasar meliputi XRD, SEM-EDX, XRF, dan CHONS Analyzer. Pengujian untuk elektroda rGO sintesis menggunakan PSA dan CV. Hasil XRD, XRF, dan CHONS menunjukkan bahwa bahan dasar arang tempurung kelapa merupakan rGO dengan sudut difraksi 2θ sebesar 22,91° dan 43,49°, dan unsur utama terbanyak ialah karbon (C) sebanyak 53,65%. Hasil uji SEM menunjukkan morfologi berupa lapisan-lapisan yang bertumpuk secara tidak teratur. Berdasarkan pengujian PSA menunjukkan bahwa proses sintesis meningkatkan ukuran partikel rGO. Pengujian CV menunjukkan sampel dengan bahan rGO:HCl:Fe:Glu = 2:2:1:2 memiliki nilai kapasitansi terbesar sebagai sampel kontrol dengan nilai 23,67 F/g dan sampel dengan bahan rGO:HCl:Fe:Glu = 2:2:

1:2 dengan waktu alir gas nitrogen 0,5 menit memiliki nilai kapasitansi terbesar untuk variasi sampel dengan nilai 21,67 F/g. Penambahan waktu alir gas nitrogen melalui metode *bubbling* dapat menurunkan nilai kapasitansi spesifik superkapasitor.

Kata kunci : Grafena Oksida Tereduksi (rGO), Kapasitansi, Nitrogen, Superkapasitor

SYNTHESIS OF SUPERCAPACITOR ELECTRODE WITH Fe³⁺ INSERTION, GLUCOSE, AND NITROGEN DOPING USING BUBBLING METHOD EMPLOYING REDUCED GRAPHENE OXIDE FROM OLD COCONUT SHELL

Name : Irma Septi Ardiani
NRP : 0111144000014
Departement : Physics Faculty of Natural Science ITS
Supervisor : Prof. Dr. Darminto

Abstract

This research uses basic material of rGO charcoal powder from old coconut shell. The rGO powder was synthesized with 1 M HCl and FeCl₃ solution stirred with a magnetic stirrer at 70°C. The addition of glucose and doping nitrogen from nitrogen gas aim to increase the value of specific capacitance of the supercapacitor electrode during chemical and mechanical exfoliation processes. This study aims to determine the effect of addition of glucose and nitrogen gas by bubbling method on the capacitance values and energy density of EDLC supercapacitor. Electrode characterization uses several measurements. Testing for the basic material includes XRD, SEM-EDX, XRF, and CHONS Analyzer. Testing for the synthetic rGO electrode uses PSA and CV. The results of XRD, XRF, and CHONS Analyzer show that the basic material is rGO with diffraction angles $2\theta = 22.91^\circ$ and 43.49° , and the most dominant element is carbon (C), that is 53.65%. The result of SEM shows the morphology of layers are stacked irregularly. The result of PSA shows that the synthesis process increases the size of rGO particle. The result of CV shows the sample with ingredients rGO:HCl:Fe:Glu = 2:2:1:2 has the largest capacitance value as the control sample with a value of 23.67 F/g and the sample with ingredients of rGO:HCl:Fe:Glu =

2:2:1:2 with a half minute gas flow nitrogen has the largest capacitance value for the sample variation with a value of 21.67 F/g. The addition of nitrogen gas flow time through bubbling method may decrease the value of the specific capacitance of the supercapacitor.

Keywords : Reduced Graphene Oxide, Capacitance, Nitrogen, Supercapacitor

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat-Nya, petunjuk-Nya berupa nikmat iman, islam, dan ikhsan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Sintesis Elektroda Superkapasitor Dengan Pengaitan Fe^{3+} , Glukosa, dan Doping Nitrogen Menggunakan Metode *Bubbling* pada Grafena Oksida Tereduksi dari Tempurung Kelapa Tua**” dengan optimal dan waktu yang tepat. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas bantuan, dorongan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Kedua orangtua tercinta yang telah memberikan semua hal terbaik bagi penulis sejak kecil hingga sampai saat ini
2. Adik tersayang, Leni Desti Permatasari, yang selalu memberikan dukungan
3. Bapak Prof. Dr. Darminto selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya serta saran yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
4. Bapak dan Ibu Dosen yang telah mendidik dan memberi ilmu kepada Penulis selama berkuliah di Departemen Fisika FIA ITS.
5. Ahmad Rizki Kurniawan, Mohammad Syaiful Anwar, Khoirotn Nadiyah, Anna Zakiyatul Laila, dan Firsta Agung Setyawan sebagai rekan satu tim *Graphene* di bawah bimbingan Bapak Prof. Dr.Darminto yang telah

membantu dalam proses penelitian dan penyusunan Tugas Akhir ini

6. Member Penghuni Terakhir (Lutfi, Tanti, Masalah, Otun, Mira, Firda) yang selalu memberikan dukungan dan motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini
7. Penghuni Laboratorium Bahan yang telah membantu dan memberikan semangat serta saran dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Teman-teman ANTARES dan warga Fisika lainnya yang telah memberikan dukungan, doa, dan semangat kepada penulis
9. Semua pihak yang telah membantu, mendukung, dan mendoakan penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Semoga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat berguna dan dimanfaatkan dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang Fisika Material. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER	iii
HALAMAN PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	6
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tempurung Kelapa Tua.....	7
2.2 Grafena	8
2.3 Grafena Oksida Tereduksi dari Tempurung Kelapa.....	12
2.4 Grafena dengan Doping Nitrogen	16
2.5 Proses Eksfoliasi.....	17
2.6 Superkapasitor	20
BAB III METODOLOGI	27
3.1 Alat dan Bahan	27
3.1.1 Alat	27
3.1.1 Bahan.....	27
3.2 Prosedur Penelitian	27

3.2.1 Tahap Preparasi Arang Tempurung Kelapa	27
3.2.2 Tahap Pembuatan Serbuk Arang Tempurung Kelapa	28
3.2.3 Tahap Pemanasan Serbuk Arang Tempurung Kelapa.....	28
3.2.4 Tahap Sintesis.....	28
3.2.5 Tahap Pembuatan Elektroda Superkapasitor	29
3.2.6 Tahap Karakterisasi.....	29
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	32
3.3.1 Preparasi Serbuk Arang Tempurung Kelapa	32
3.3.2 Sintesis Elektroda Superkapasitor	33
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	85
4.1 Analisis Bahan Dasar	35
4.1.1 Analisis Fasa Serbuk Arang Tempurung Kelapa	35
4.1.2 Analisis Komposisi Serbuk Arang Tempurung Kelapa.....	37
4.1.3 Analisis Distribusi Ukuran Partikel Serbuk Arang Tempurung Kelapa	40
4.1.4 Analisis Morfologi Serbuk Arang Tempurung Kelapa.....	41
4.2 Analisis Bahan Elektroda Superkapasitor	43
4.2.1 Analisis Kapasitansi Spesifik Elektroda Superkapasitor	44
4.2.2 Analisis Distribusi Ukuran Partikel Elektroda Superkapasitor	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN	67
BIODATA.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian-bagian Kelapa (Bledzki et al., 2010).....	7
Gambar 2.2 (a) Susunan Atom Karbon pada Grafena (Wei, 2016) (b) Skema Ikatan (Choi et al., 2010).....	9
Gambar 2.3 Alotrop Karbon (a) Graphene, (b) Fullerenes, (c) Nanotubes, dan (d) Grafit (Castro Neto et al., 2009)	10
Gambar 2.4 Proses Pembuatan RGO dari Grafit (Parvez, 2014)	11
Gambar 2.5 Pola Difraksi (a) Arang Tempurung Kelapa Tua dengan Pemanasan 5 jam pada suhu 400°C (b) Penelitian dengan Metode Hummer (Fu et al., 2013)	14
Gambar 2.6 Spektrum FTIR Arang Tempurung Kelapa Tua dengan Pemanasan 5 jam pada suhu 400°C (Nugraheni et al., 2015)	14
Gambar 2.7 Kurva Fitting Spektroskopi Raman dari Arang Tempurung Kelapa (Prasetya et al., 2015).....	15
Gambar 2.8 Konfigurasi Ikatan dari Grafena dengan Doping Nitrogen (Deepan et al., 2014).....	17
Gambar 2.9 Mekanisme Eksfoliasi (Ghosh, 2014).....	19
Gambar 2.10 (a) SEM Grafit (b) SEM GO (c) SEM rGO (d) TEM RGO (Loryuenyong et al., 2015)	20
Gambar 2.11 Ragone Plot dari Perangkat Penyimpan Energi (Halper & Ellenbogen, 2006).....	21
Gambar 2.12 Skema Electrical Double-Layer Capacitor (EDLC) (Halper & Ellenbogen, 2006).....	23
Gambar 2.13 Perbandingan Voltamogram Siklik Ideal dan Nyata (Namisnyk, 2003)	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Produksi rGO Tempurung Kelapa...	32

Gambar 3.2 Diagram Alir Sintesis Elektroda Superkapasitor ...	33
Gambar 4.1 Grafik Pola <i>Diffractogram</i> rGO dari Serbuk Arang Tempurung Kelapa	36
Gambar 4.2 Referensi Pola Difraksi (a) <i>Reduced Graphene Oxide</i> (CReGO), <i>Reduced Graphite Oxide</i> (RGO), <i>Graphite Oxide</i> (GO) (Park, 2011) (b) <i>Graphite Oxide</i> (GO) dan <i>Reduced Graphene Oxide</i> (RGO)(Sarkar, 2014)	36
Gambar 4.3 Hasil Uji PSA Sampel rGO	41
Gambar 4.4 Morfologi Serbuk rGO (a) SEM Perbesaran 1000x (b) SEM Perbesaran 500x (c) SEM-EDX	44
Gambar 4.5 Kurva <i>Cyclic Voltametry</i> untuk Sampel Kontrol...	48
Gambar 4.6 Kurva <i>Cyclic Voltametry</i> untuk Sampel dengan Variasi Waktu Alir Gas Nitrogen	50
Gambar 4.7 Hasil Pengujian PSA pada Sampel Kontrol.....	55
Gambar 4.8 Hasil Pengujian PSA pada Sampel dengan Variasi Waktu Alir Gas Nitrogen	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan pada Teknologi Penyimpan Energi (Gonzales et al., 2016)	22
Tabel 4.1 Hasil Analisis Komposisi Bahan Dasar	38
Tabel 4.2 Nilai Kapasitansi Spesifik dan Rapat Energi pada Sampel Elektroda Superkapasitor	53

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Spektrum XRF	67
Lampiran 2. Hasil Uji SEM-EDX	68

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan primer bagi manusia pada era modern ini. Kebutuhan energi mengalami peningkatan seiring dengan perkembangan pada berbagai sektor baik sektor industri, sektor rumah tangga, sektor komersial, sektor transportasi, dan sektor lainnya, serta peningkatan jumlah penduduk. Permasalahan yang tengah dihadapi oleh bangsa ini adalah keterbatasan sumber energi yang tidak dapat diperbarui tidak sebanding dengan pertumbuhan manusia yang menyebabkan semakin berkurangnya ketersediaan energi, terutama di bidang energi listrik. Karena ketersediaan energi yang bersifat *unrenewable* semakin langka dan kebutuhan energi yang besar maka perlu dilakukan eksplorasi sumber daya energi yang difokuskan pada *renewable resource* (Priyarsono et al., 2012). Namun selain keterbatasan energi listrik, permasalahan mengenai penyimpanan energi juga menjadi fokus utama yang harus ditemukan solusinya. Kebutuhan energi yang semakin banyak mendorong terwujudnya penyimpanan energi berkapasitas besar. Selain itu, efektivitas penggunaan energi listrik yang dihasilkan dari sumber energi terbarukan pun membutuhkan perangkat penyimpanan energi yang efisien.

Superkapasitor merupakan terobosan terbaru dalam memenuhi tuntutan penyimpanan energi saat ini. Keunggulannya dibandingkan baterai dan kapasitor biasa mampu menjadikannya sebagai salah satu sumber energi alternatif masa depan. Superkapasitor memiliki kapasitas penyimpanan yang jauh lebih besar dan pengosongan muatan yang lebih tahan lama dibandingkan kapasitor biasa, kerapatan energi yang tinggi, rapat daya yang besar, serta kebutuhan waktu yang singkat dalam pengisian ulang/*charge* sehingga menyebabkan superkapasitor mempunyai potensi yang besar dibandingkan baterai (Conway,1999). Berdasarkan mekanisme penyimpanan energi, superkapasitor dibagi menjadi dua jenis yaitu pseudokapasitor

dan *Electrical Double-Layer Capacitor* (EDLC) (Naderi et al., 2016). Pseudokapasitor melibatkan reaksi Faradaic dan redoks dalam menyimpan muatan, serta memiliki kapasitansi dan rapat energi yang tinggi namun memiliki daur hidup yang sedikit. Sedangkan EDLC menyimpan muatan secara elektrostatik (non Faradaic) serta memiliki kapasitansi yang kecil meskipun memiliki rapat daya yang besar, konduktivitas listrik yang baik, dan daur hidup yang banyak. Dengan menggabungkan dua mekanisme penyimpanan ini, dapat dikembangkan elektroda superkapasitor yang berkapasitansi tinggi dengan daur hidup yang panjang. Pseudokapasitor menggunakan bahan oksida logam sebagai elektroda, salah satunya adalah Fe_3O_4 maupun ionnya yaitu Fe^{3+} karena memiliki kestabilan yang baik, sedangkan EDLC menggunakan bahan polimorf karbon, seperti *carbon nanofiber*, *carbon nanotube*, dan *graphene* (Li et al., 2016).

Penelitian grafena pertama kali dilakukan oleh Novoselov dan Geim (2004) dan mampu menarik minat yang besar dalam *material science* karena memiliki banyak keunggulan, baik dari sifat mekanik, listrik, termal, dan optik (Pei & Cheng., 2012). Keunggulan tersebut menjadikan grafena mampu untuk diaplikasikan sebagai material superkapasitor. Grafena Oksida Tereduksi (rGO) memiliki struktur dan sifat yang menyerupai grafena, karena rGO merupakan hasil reduksi dari atom – atom oksigen dan hidrogen grafit yang mengalami oksidasi. rGO dapat diproduksi melalui cara yang mudah dan biaya yang relatif murah yaitu dari tempurung kelapa tua (Nugraheni et al. 2015). Tempurung kelapa tua memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang sebagian besar terdiri atas unsur karbon dan oksigen dengan *atomic percent* sebesar 57,11% karbon dan 42,67% oksigen (Wachid et al., 2014). Adanya oksigen dan karbon dengan persentase yang cukup tinggi, merupakan ciri khas dari bahan organik. Dengan adanya kandungan utama karbon dan oksigen yang dimiliki oleh tempurung kelapa tua, maka dapat menjadi sumber pembentukan grafena oksida tereduksi (rGO) dengan melalui perlakuan suhu.

rGO yang dihasilkan dari pembakaran tempurung kelapa memiliki karakteristik yang setara dengan rGO grafit pada umumnya. Karakterisasi XRD yang menunjukkan bahwa tempurung kelapa menghasilkan fasa grafena oksida tereduksi (rGO) telah dilakukan sebelumnya yaitu terbentuknya puncak pada sudut $2\theta=24^\circ$ dan 43° . Selain itu, tempurung kelapa tua yang mengalami proses karbonisasi pada suhu 400°C mempunyai beberapa ikatan molekuler yang mengindikasikan adanya fasa rGO, yaitu ikatan C=C dan C-C yang merupakan ikatan molekuler utama grafena, serta ikatan-ikatan lain seperti C-H, C-O, C=O dan O-H (Nugraheni et al., 2015).

Sifat suatu material berkaitan dengan struktur material tersebut. Oleh karena itu, untuk memodifikasi sifat dari grafena dapat dilakukan dengan mengendalikan strukturnya, salah satunya adalah doping kimia dengan heteroatom (Geng et al., 2011). Doping kimia dengan nitrogen merupakan salah satu metode yang efektif untuk memodifikasi sifat grafena karena ukuran atom yang sebanding dan lima elektron valensi yang dimilikinya mampu membentuk ikatan valensi yang kuat dengan atom karbon. Elektronegativitas nitrogen yang lebih besar dibanding karbon menciptakan polarisasi pada jaringan karbon sehingga mempengaruhi sifat elektrik, magnetik, dan optik dari grafena (Wang et al., 2014). Namun, pada Grafena Oksida Tereduksi (rGO) terdapat beberapa kendala yaitu menggumpalnya lembaran rGO tersebut, dimana hal ini menyebabkan berkurangnya luas permukaan dan menurunkan nilai kapasitansi. Oleh karena itu, adanya penambahan glukosa sangat diperlukan karena peranannya sebagai penghalang (*spacer*) antar lapisan rGO (Ma et al., 2014)

Penelitian mengenai aplikasi grafena sebagai elektroda superkapasitor telah banyak dilakukan. Penelitian Hidayat (2016) memanfaatkan rGO dari tempurung kelapa tua sebagai bahan elektroda superkapasitor dan diperoleh nilai kapasitansi rGO sebesar 13 F/g. Pada penelitian yang dilakukan oleh Du et al (2013), ditemukan bahwa ketika material grafena dan nitrogen

dikombinasikan, maka dihasilkan nilai kapasitansi sebesar 233,3 F/g. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Ghasemi dan Ahmadi (2015) menggunakan rGO dan Fe_3O_4 yang menghasilkan kapasitansi sebesar 154 F/g. Selain itu, penelitian terkait juga dilakukan oleh Naderi et al (2016) dengan menggunakan grafena, Fe_3O_4 , dan nitrogen sehingga diperoleh komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{NRGO}$ dengan kapasitansi sebesar 355 F/g. Selain itu, penggunaan glukosa juga telah terbukti meningkatkan nilai kapasitansi EDLC dari 209 F/g menjadi 273 F/g (Ma et al., 2014). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan mengkombinasikan rGO, Fe_3O_4 , glukosa, dan nitrogen dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan energinya. Namun, rGO seringkali mengalami permasalahan yaitu terjadinya aglomerasi ketika digunakan sebagai material elektroda yang diakibatkan oleh gaya *Van der Waals* antar lembaran rGO. Oleh karena itu, rGO perlu disayat dengan mencampurkan material asam kedalamnya, atau dikenal sebagai teknik eksfoliasi. Hal ini telah dilakukan oleh Al-Hazmi et al (2015). Teknik ini membantu dalam merenggangkan lapisan antar rGO sehingga diperoleh lapisan yang tipis dan meningkatkan luas permukaan sehingga dapat memperbesar nilai kapasitansinya.

Penambahan larutan asam sebagai proses eksfoliasi serta penggunaan material Fe_3O_4 , rGO, glukosa, dan nitrogen diharapkan dapat menghasilkan nilai kapasitansi spesifik yang tinggi sebagai elektroda superkapasitor. Pada penelitian ini digunakan material FeCl_3 yang memanfaatkan ion Fe^{3+} seperti pada oksida Fe_3O_4 serta sumber nitrogen yang berasal dari gas N_2 . Oleh karena itu penulis melakukan penelitian dengan judul “Sintesis Elektroda Superkapasitor dengan Pengaitan Fe^{3+} , Glukosa, dan Doping Nitrogen Menggunakan Metode *Bubbling* pada Grafena Oksida Tereduksi dari Tempurung Kelapa Tua” untuk menghasilkan superkapasitor yang ramah lingkungan serta memiliki nilai kapasitansi yang tinggi.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini antara lain :

1. Bagaimana fasa, komposisi, distribusi ukuran partikel, dan morfologi dari bahan dasar arang tempurung kelapa tua?
2. Bagaimana pengaruh pemberian glukosa terhadap kapasitansi dan ukuran partikel dari campuran rGO/HCl/Fe³⁺?
3. Bagaimana pengaruh waktu alir gas nitrogen terhadap distribusi ukuran partikel dan nilai kapasitansinya sebagai elektroda superkapasitor?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian pada tugas akhir ini antara lain :

1. Mengetahui fasa, komposisi, distribusi ukuran partikel, dan morfologi rGO dari arang tempurung kelapa tua
2. Mengetahui pengaruh pemberian glukosa terhadap kapasitansi dan distribusi ukuran partikel dari campuran rGO/HCl/Fe³⁺
3. Mengetahui pengaruh waktu alir gas nitrogen terhadap distribusi ukuran partikel dan nilai kapasitansinya sebagai elektroda superkapasitor

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data hasil penelitian akan memberikan informasi tentang potensi penggunaan tempurung kelapa tua yang mampu membentuk rGO dan diaplikasikan pada elektroda superkapasitor sehingga bermanfaat dalam pengembangan elektroda superkapasitor kedepannya.

2. Dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya terkait pengembangan elektroda superkapasitor sehingga menghasilkan penelitian yang intensif
3. Diharapkan mampu menghasilkan superkapasitor dengan kapasitansi tinggi yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi lebih lanjut sebagai bahan peralatan listrik ramah lingkungan.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, permasalahan dibatasi pada penggunaan rGO dari tempurung kelapa tua yang telah dibakar dan *difurnace* pada temperatur 400°C selama 5 jam. Proses eksfoliasi kimia dilakukan dengan penambahan HCl dan eksfoliasi mekanik menggunakan ultrasonik. Sumber nitrogen yang digunakan adalah gas N₂. Metode pencampuran dilakukan dengan metode *wet mixing* dan metode *bubbling*. Metode pengeringan dilakukan dengan metode *hot drying*.

1.6 Sistematika Penulisan

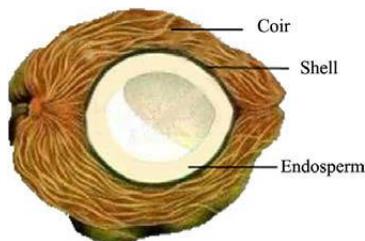
Pada penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari abstrak yang menggambarkan tentang gambaran umum dari penelitian ini. Bab I yang berisikan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Bab II berisikan tentang tinjauan pustaka yang berkaitan dengan dasar teori sebagai acuan dari penelitian. Bab III berisikan tentang metodologi. Bab IV berisikan tentang hasil penelitian dan pembahasannya. Dan Bab V berisikan tentang kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tempurung Kelapa Tua

Kelapa (*Cocos nucifera L*) termasuk ke dalam famili *Palmae* dan merupakan buah yang dihasilkan oleh negara tropis, salah satunya adalah Indonesia. Kelapa merupakan tanaman serbaguna karena semua bagiannya dapat dimanfaatkan. Kelapa terdiri dari bagian terluar yang mengandung banyak serat (*coir*), bagian terkeras dari kelapa (*shell*), serta bagian dalam yang merupakan daging berwarna putih (*endosperm*) seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.1. Kelapa memiliki tempurung kelapa dengan berat sebesar 15-20% dari berat kelapa keseluruhan. Tempurung kelapa masih kurang dimanfaatkan dan belum diolah secara maksimal sehingga hanya berakhir sebagai limbah. Kandungan kimia terbesar dari tempurung kelapa adalah selulosa (34%), hemiselulosa (21%) dan lignin (27%), sedangkan komposisi unsurnya terdiri atas karbon (74,3%), oksigen (21,9%), silikon (0,2%), kalium (1,4%), sulfur (0,5%) dan posfor (1,7%) (Bledzki et al., 2010). Tempurung kelapa sangat berpotensi untuk dijadikan arang aktif karena memiliki sifat kekerasan yang baik, kadar karbon terikat yang tinggi, dan kadar abu mineral yang rendah (Rampe, 2015).



Gambar 2.1 Bagian-bagian Kelapa
(Bledzki et al., 2010)

Holoselulosa merupakan istilah yang digunakan untuk menyebutkan selulosa dan hemiselulosa. Selulosa adalah senyawa organik dengan formula $(C_6H_{10}O_5)_n$ yang terdapat pada dinding

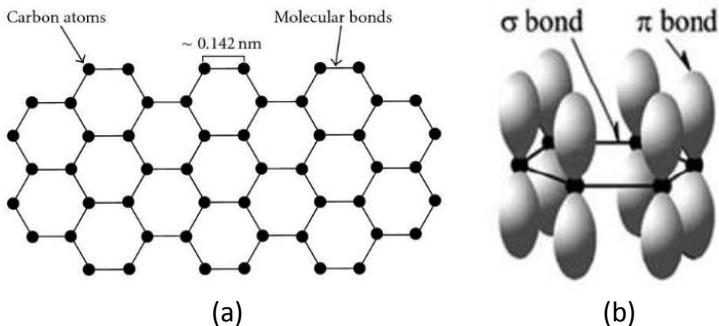
sel dan berfungsi untuk menguatkan struktur. Hemiselulosa dengan formula $(C_5H_8O_4)_n$ adalah polimer polisakarida heterogen yang tersusun dari unit D-Glukosa, L-Arabiosa, dan D-Xilosa yang mengisi ruang antara serat selulosa di dalam dinding sel tumbuhan. Sehingga hemiselulosa adalah matriks pengisi serat selulosa. Komponen lainnya yaitu lignin dengan formula $[(C_9H_{10}O_3)(CH_3O)]_n$ berfungsi sebagai pengikat sel-sel yang lain dan memberikan kekuatan. Selulosa, hemiselulosa, dan lignin sangat berpengaruh terhadap kandungan fasa karbon yang terbentuk (Wachid, 2014).

Pada proses karbonisasi terjadi penguraian bahan-bahan organik yang terkandung di dalam tempurung kelapa. Tempurung kelapa memiliki sifat difusi termal yang baik karena tingginya kandungan selulosa dan lignin yang terdapat di dalamnya. Proses karbonisasi akan menghasilkan perubahan yang bertahap. Pada suhu 100-120°C terjadi penguapan air. Pada suhu 270-310 °C terjadi penguraian selulosa menjadi larutan piroglinat, gas kayu dan sedikit *ter*. Pada suhu 310-500 °C terjadi penguraian lignin, dihasilkan lebih banyak *ter*, larutan piroglinat dan gas CO₂ menurun, sedangkan gas CH₄, CO, dan H₂ meningkat. Pada suhu 500-1000°C merupakan tahap pemurnian arang atau peningkatan kadar karbon dimana karbon akan cenderung berkembang menjadi grafit dan menghasilkan arang yang memiliki struktur teratur (Maryono et al., 2010).

2.2 Grafena

Grafena merupakan satu lapis atom karbon yang mengalami hibridisasi sp^2 membentuk struktur heksagonal 2 dimensi dengan kisi berbentuk *honeycomb* (sarang lebah) yang memiliki keteraturan tinggi, serta memiliki jarak antar karbon sebesar 0,142 nm (Wei, 2016). Struktur dua dimensi menyebabkan grafena memiliki celah nol (*zero bandgap*) dan bersifat sebagai semimetal (Loryuenyong et al., 2013). Alotropi karbon ini ditemukan secara eksperimental oleh Novoselov dan Geim (2004). Gambar 2.2 (a) menunjukkan struktur susunan atom karbon dari grafena. Atom

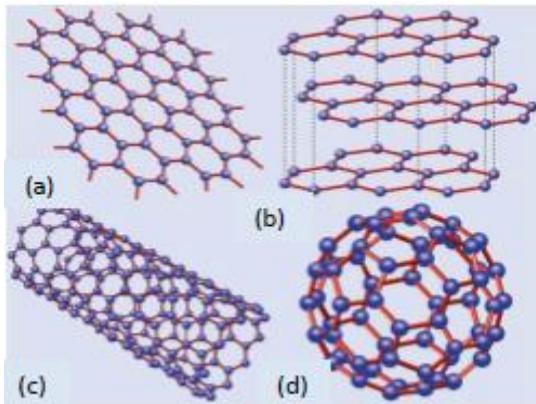
karbon memiliki konfigurasi elektron $1s^2 2s^2 2p^2$ dimana elektron menempati kulit pertama dan kedua, serta pada kulit kedua menempati sub kulit s dan p. Keempat elektron pada kulit kedua di dalam atom karbon tersedia untuk ikatan kimia. Ikatan pada grafena menunjukkan adanya tiga ikatan σ antar atom karbon yang sebidang (*in-plane*) dan orbital π yang tegak lurus terhadap bidang (Choi et al., 2010). Visualisasi ikatan ini ditunjukkan oleh Gambar 2.2 (b). Orbital π ini tumpang tindih saling simetris berbentuk kerucut. *Bonding* dan *anti-bonding* pada orbital π ini yang menentukan sifat elektronik grafena. Struktur unik ini memungkinkan grafena memiliki banyak sifat yang diinginkan dan aplikasi yang menjanjikan (Chee, 2015). Ikatan π yang terjadi antarbidang disebabkan oleh orbital $2p_z$ memiliki energi ikat yang kecil sehingga mudah untuk diputus dalam pembuatan Grafena Oksida (GO) atau Grafena Oksida Tereduksi (rGO) (Warner, 2013).



Gambar 2.2 (a) Susunan Atom Karbon pada Grafena (Wei, 2016)
(b) Skema Ikatan (Choi et al., 2010)

Selain grafena, karbon memiliki beberapa alotrop lainnya, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.3. Karbon merupakan dasar dari semua material organik dan menjadi kunci utama dari material campuran dalam industri kimia organik. Perbedaan struktur fisik dari karbon yang membuatnya memiliki berbagai nama alotrop yaitu graphene, graphite, fullerenes, dan carbon

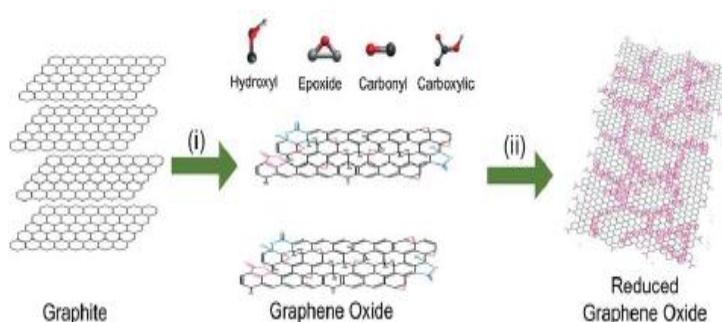
nanotubes (Geim & Noveselov, 2007). Grafena (2D) memainkan peran penting karena merupakan dasar untuk memahami sifat elektronik dalam alotrop lainnya. Grafena dapat dianggap tersusun dari cincin benzene yang dilepaskan dari atom hidrogennya. Fullerenes (0D) adalah molekul dimana atom karbon disusun secara sferis atau dapat dikatakan terbentuk dari grafena dengan pengenalan pentagon pada kisi heksagonal, sehingga jika ditinjau dari sudut pandang fisik merupakan benda zero dimensional dengan keadaan energi diskrit. Carbon nanotubes (1D) adalah atom karbon yang disusun dengan menggulung grafena sepanjang arah tertentu dan menghubungkan kembali ikatan karbonnya sehingga berbentuk silinder. Oleh karena itu carbon nanotube hanya memiliki segienam dan dapat dianggap sebagai satu dimensi. Grafit merupakan alotrop karbon tiga dimensi yang terbuat dari tumpukan lapisan grafena yang digabungkan oleh ikatan Van der Waals (Castro Neto et al., 2009)



Gambar 2.3 Alotrop Karbon (a) *Graphene*, (b) Grafit, (c) *Nanotubes*, dan (d) *Fullerenes*
(Castro Neto et al., 2009)

Terdapat tiga turunan dari grafena yaitu grafit, grafena oksida (GO), dan grafena oksida tereduksi (rGO). Grafit merupakan

material karbon yang lapisannya bertumpuk dan bersifat amorf, serta mengandung banyak karbon dan oksigen. Lapisan tersebut merupakan susunan grafena yang ditumpuk-tumpuk dimana satu lapisan dengan lapisan lain berikatan Van Der Waals. Grafena oksida (GO) merupakan hasil oksidasi grafit dimana terjadi penambahan jumlah oksigen yang terikat serta ikatan antar lapisan yang meregang. Oksigen pada GO sebagian besar dalam bentuk gugus hidroksil dan epoksi pada bidang basal, sedangkan sejumlah kecil dalam bentuk karboksil, karbonil, lakton dan kuinon yang terletak terutama pada tepi lembaran (Parvez, 2014). Grafena Oksida Tereduksi (rGO) terbentuk dari grafena oksida yang mengalami reduksi atom-atom oksigen dan hidrogen sehingga membentuk struktur dan sifat yang menyerupai grafena (Atkins, 2005). Proses pembuatan rGO dari grafit dijelaskan oleh Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Proses Pembuatan rGO dari Grafit
(Parvez, 2014)

Grafena memiliki banyak sifat yang diinginkan dan aplikasi yang menjajikan. Jangkauan panjang dari konjugasi π pada grafena menghasilkan sifat fisik dan kimia yang luar biasa seperti luas permukaan teoritis yang sangat tinggi ($2630 \text{ m}^2/\text{g}$), konduktivitas listrik yang baik (10^7 m^{-1}), konduktivitas termal yang tinggi ($\sim 5000 \text{ W/mK}$), mobilitas intrinsik yang tinggi

(200.000 cm²/Vs), dan Modulus Young yang tinggi (~1 TPa). Selain itu, grafena memiliki transparansi yang besar, satu lapis grafena hanya mampu menyerap 2,3% cahaya dan memiliki transparansi sebesar 97,7%. Sifat fisik dan kimia unik yang dimiliki oleh grafena menjadikannya sebagai basis ideal untuk berbagai aplikasi, yaitu perangkat listrik, biosensor, transistor, superkapasitor, *organic light emitting diodes* (OLEDs), baterai sekunder lithium, *photodetectors*, dan *fuel cells* (Yadav & Dixit, 2017).

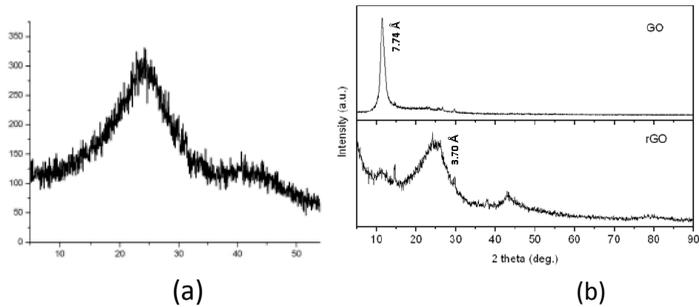
Grafena dapat disintesis melalui beberapa metode seperti *Chemical Vapor Deposition* (CVD), eksfoliasi mekanik dan pembelahan, serta *annealing* pada *single-crystal* SiC dibawah *ultrahigh vacuum*. Namun, metode ini masih memiliki beberapa kekurangan, yaitu kebutuhan energi yang tinggi, hasil yang rendah, dan keterbatasan instrumen. Metode kimia merupakan metode yang menjanjikan untuk menghasilkan lembaran grafena, meskipun grafena yang berasal dari metode ini dapat mengandung sejumlah besar kelompok fungsional oksigen dan cacat. Hal ini karena metode ini sederhana, murah, dan cocok untuk skala besar atau produksi massal. Prosesnya melibatkan 3 tahap penting yaitu oksidasi grafit, pengelupasan oksida grafit, dan reduksi lembaran oksida grafena (Loryuenyong et al. 2013).

2.3 Grafena Oksida Tereeduksi dari Tempurung Kelapa Tua

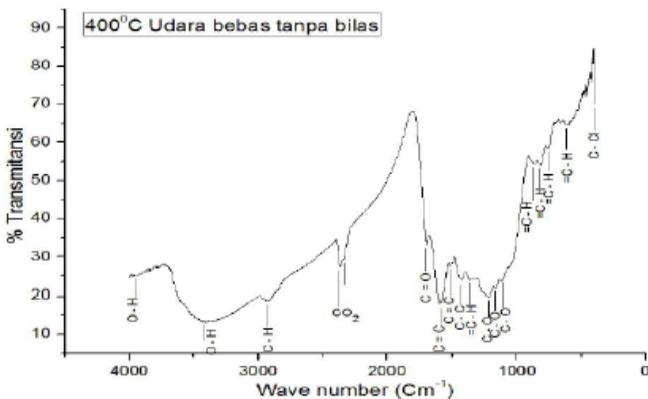
Tempurung kelapa tua merupakan bahan dasar dalam pembuatan grafena oksida tereeduksi (rGO) seperti yang telah ditunjukkan oleh beberapa hasil penelitian sebelumnya. Pola difraksi dari arang tempurung kelapa yang dipanaskan pada suhu 400°C selama 5 jam memiliki posisi puncak yang sama dengan grafena oksida tereeduksi yaitu disekitar sudut 24° dan 43° (Nugraha, 2014). Hal ini ditunjukkan oleh Gambar 2.5 (a). Puncak pada sudut 24° merupakan refleksi dari bidang (002) dan puncak lebar di sekitar sudut 43° merupakan refleksi dari bidang (100). Kedua refleksi tersebut mengindikasikan adanya lembaran grafena dengan kisi kristal *honeycomb* (hexagonal) yang

merupakan hibridisasi dari sp^2 (Blanton et al., 2013). Hal ini juga sesuai dengan hasil penelitian Fu et al. (2013), dimana grafena oksida tereduksi memiliki dua puncak spesifik seperti pada Gambar 2.5 (b). Puncak karakteristik (002) pada $26,58^\circ$ hilang setelah oksidasi, sementara puncak tambahan pada $11,42^\circ$ teramati sesuai dengan puncak difraksi (001) pada grafena oksida (GO). Selain itu *d-spacing* GO meningkat menjadi 1,31 lipatan lebih besar daripada grafit yaitu menjadi 0,774 nm. Meningkatnya jarak interlayer GO disebabkan oleh meningkatnya gugus fungsional yang mengandung oksigen, dimana hal ini menunjukkan bahwa grafit telah teroksidasi. Namun, gugus fungsional yang mengandung oksigen dari GO tidak sepenuhnya tereduksi. Puncak difraksi kecil grafit oksida (001) pada suhu sekitar 14° masih berada dalam pola rGO, disamping puncak difraksi (002) grafit sekitar 24° . Perluasan dan pergeseran puncak difraksi karakteristik grafit dari $26,58^\circ$ sampai 24° disebabkan oleh tatanan jarak pendek yang bertumpukan. Jarak interlayer rGO adalah 0,37 nm, sedikit lebih besar dari pada grafit, yang dihasilkan dari sejumlah kecil kelompok fungsional yang mengandung oksigen residu atau cacat struktural lainnya (Fu et al., 2013).

Pada pemanasan suhu 400°C terjadi pemecahan ikatan C-O dan C-H sehingga akan menghasilkan ikatan utama grafena C=C dan C-C dengan ikatan C-O dan C-H (Nasrullah, 2014). Berdasarkan hasil spektrum FTIR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6, teridentifikasi beberapa ikatan molekul yang mengindikasikan adanya fasa RGO pada suhu rendah, yaitu ikatan C=C dan C-C yang merupakan ikatan molekul utama grafena, serta ikatan-ikatan lain seperti C-H, C-O, C=O dan O-H (Nugraheni et al., 2015). Puncak-puncak yang mengindikasikan munculnya grafena oksida tereduksi antara lain adanya ikatan C=O pada bilangan gelombang 1726 cm^{-1} , ikatan C-O pada bilangan gelombang 1056 cm^{-1} , ikatan O-H pada bilangan gelombang 3400 cm^{-1} , serta ikatan C=C pada bilangan gelombang 1618 cm^{-1} (Konios et al., 2014).



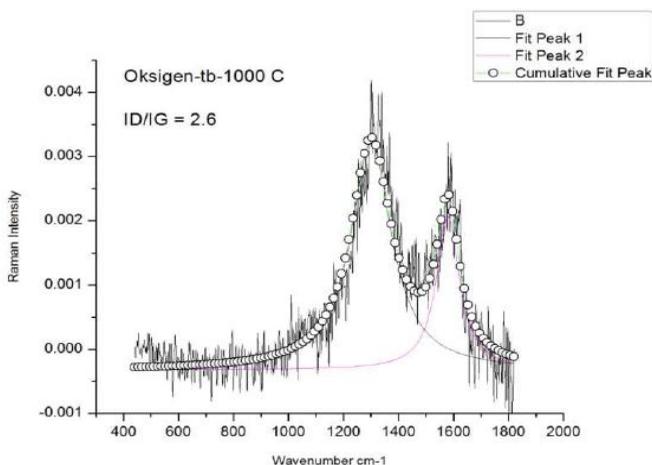
Gambar 2.5 Pola Difraksi (a) Arang Tempurung Kelapa Tua dengan Pemanasan selama 5 jam pada suhu 400°C (Nugraha, 2014) (b) Penelitian dengan Metode Hummer (Fu et al., 2013)



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

Tempurung kelapa tua memiliki lebar celah pita yang berada dalam rentang 0,07-0,67 eV berdasarkan pengukuran UV-Vis. Nilai lebar celah pita energi arang hasil pemanasan ini berada dalam rentang nilai bahan silikon hingga germanium, dimana suatu bahan semikonduktor memiliki lebar celah pita energi berkisar 1 eV. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa arang

tempurung kelapa tua merupakan bahan semikonduktor (Nasrullah, 2014). Hasil pengujian Spektroskopi Raman dari arang tempurung kelapa tua disajikan dalam bentuk grafik di kisaran bilangan gelombang 400 cm^{-1} sampai 1850 cm^{-1} seperti pada Gambar 2.7. Berdasarkan grafik tersebut, sampel menghasilkan puncak pada 1300 cm^{-1} yang disebut band D (defect) yang disebabkan oleh defek kristal serta puncak di sekitar 1590 cm^{-1} disebut pita G atau ikatan grafit (Prasetya et al., 2015). Puncak yang menunjukkan adanya cacat/defek diakibatkan oleh gangguan pada ikatan sp^2 yaitu kekosongan, struktur *wrinkle*, heptagon dan pentagon ring, dan juga adanya gugus fungsional lain seperti O dan H. Sedangkan puncak *graphitic* muncul karena adanya pergerakan peregangan dari ikatan sp^2 pada atom karbon (Kurniasari, 2017). Dari uji Raman, diperoleh rasio I_D/I_G sekitar 2.5. Semakin besar rasio I_D/I_G menunjukkan defek yang lebih besar, yang artinya bahwa kristal itu tidak sempurna. Nilai yang ditunjukkan menyatakan bahwa arang tempurung kelapa tua mengandung grafena oksida tereduksi (rGO) dengan tingkat cacat rendah dari rasio I_D / I_G (Prasetya et al., 2015).



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

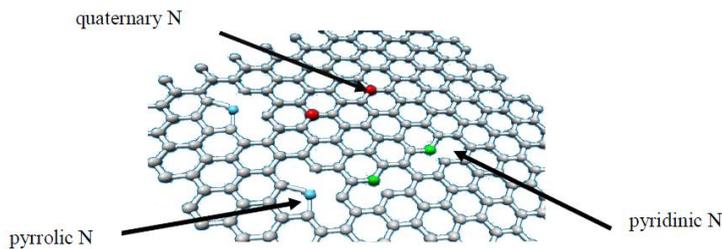
2.4 Grafena dengan Doping Nitrogen

Sifat suatu material berkaitan dengan struktur material tersebut. Oleh karena itu, untuk memodifikasi sifat dari grafena dapat dilakukan dengan mengendalikan strukturnya, salah satunya adalah doping kimia dengan heteroatom (Geng et al., 2011). Penggunaan heteroatom seperti boron (B), nitrogen (N), pospor (P), dan sulfur (S) ke dalam grafena dapat meningkatkan sifat elektronik dan reaktivitas kimia. Dalam aplikasi superkapasitor, doping nitrogen (N-doping) telah dilaporkan menghasilkan *pseudocapacitance* dengan bertindak sebagai elektron donor untuk menarik proton dan memperkuat reaksi redoks (Hao et al., 2016). Selain itu, substitusi grafena dengan atom nitrogen dapat mengubah energi Fermi dan meningkatkan celah pita. Penggabungan atom lain ke dalam situs sp^2 dari kisi grafena dapat menyempurnakan sifat intrinsik grafena (Shinde et al., 2016). Diantara berbagai dopan, doping nitrogen mudah dicapai dalam grafena karena ukuran atom dan elektronegativitasnya yang sebanding (Lin et al., 2017). Nitrogen memiliki ukuran dan nomor elektron valensi yang sama dengan atom karbon (C). Grafena dengan doping nitrogen memiliki kapasitansi yang lebih besar karena doping nitrogen menyebabkan *micro porous* pada *graphene* sehingga meningkatkan *wettability* pada elektroda/elektrolit. Selain itu, doping nitrogen pada grafena juga dapat meningkatkan *binding energy*, yang menyebabkan banyak pergerakan ion pada luas permukaan elektroda (Gong, 2015). Elektronegativitas nitrogen yang lebih besar dibanding karbon menciptakan polarisasi pada jaringan karbon sehingga mempengaruhi sifat elektrik, magnetik, dan optik dari grafena (Wang et al., 2014).

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

mengacu atom N yang berkontribusi dua elektron p ke sistem π , meskipun tidak perlu ikatan ke dalam cincin beranggota lima, seperti di pyrrole. Kuartar N mengacu pada atom N yang pengganti atom C dalam cincin heksagonal. Di antara jenis nitrogen ini, pyridinic N dan kuartar N merupakan hibridisasi sp^2 dan pyrrolic N merupakan hibridisasi sp^3 (Yadav & Dixit, 2017). Dari ketiga konfigurasi ikatan N ini, *pyridinic N* dan *pyrrolic N* berperan dalam keterbasahan (*wettability*) dan meningkatkan *pseudocapacitance*, sedangkan *graphitic N* berperan dalam meningkatkan konduktivitas listrik grafena (Lin et al., 2017).

Ada beberapa metode dalam sintesis grafena dengan doping N. Pada dasarnya terdapat dua metode umum yang digunakan dalam proses sintesis, yaitu dikategorikan sebagai *Direct Synthesis* dan *Post Treatment*. *Direct Synthesis* mencakup metode *chemical vapor deposition* (CVD), metode segregasi, solvothermal dan metode *arc discharge*. Sedangkan *Post Treatment* mencakup *thermal treatment*, *plasma treatment*, dan *N₂H₄ treatment* (Yadav and Dixit, 2017).



Gambar 2.8 Konfigurasi Ikatan dari Grafena dengan Doping Nitrogen (Deepan et al., 2014)

2.5 Proses Eksfoliasi

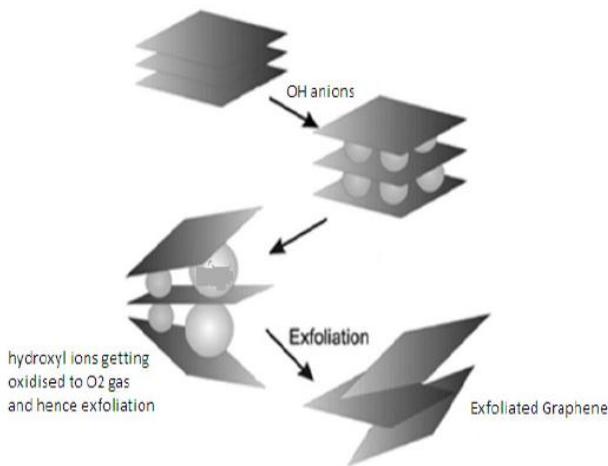
Grafena dapat dibentuk melalui dua pendekatan yang berbeda, yaitu grafena yang terlepas dari grafit melalui proses pengelupasan (eksfoliasi) dan lapisan grafena yang dapat tumbuh secara langsung pada permukaan substrat (Krane, 2011). Grafit

terbentuk oleh lapisan-lapisan paralel yang bertumpuk dan terpisah sejauh 3,41 Å. Walaupun gaya Van der Waals antar lapisan merupakan ikatan yang lemah untuk membuatnya meluncur ke arah tegak lurus dengan c-axis, namun gaya ini cukup kuat untuk menahan terjadinya pengelupasan menjadi *single layer*. Upaya pertama telah dilakukan oleh Brodie pada tahun 1859 untuk menghasilkan *single-layer graphene* melalui proses eksfoliasi. Proses eksfoliasi dilakukan dengan mengurangi gaya Van der Waals antar lapisan yang berdekatan, yaitu dengan memperluas jarak antar lapisan melalui reaksi oksidasi dan reaksi kimia. Selama oksidasi grafit, gugus fungsional seperti hidroksil dan epoksida dimasukkan dan terikat pada lapisan grafit, sehingga menghasilkan susunan grafit yang tidak teratur serta peningkatan *d-spacing* dari 3,4 Å menjadi 7 Å (Cai et al., 2012).

Eksfoliasi atau pengelupasan kulit dilakukan dengan memberikan energi eksternal, yaitu melalui ultrasonikasi dan *thermal treatment*. Selama proses ultrasonikasi, terjadi gaya geser dan kavitasi yang bekerja pada bahan dan menginduksi proses pengelupasan. Dalam proses termal, grafit oksida dan senyawa interkalasi grafit, tekanan karena dekomposisi gugus fungsional dan interkalasi antar lapisan dapat mengatasi gaya van der Waals dan menghasilkan pengelupasan kulit. Proses eksfoliasi mekanik terhadap larutan dengan material berlapis, dapat dilakukan melalui pengadukan, pengocokan, atau ultrasonikasi. Selain itu, digunakan juga pelarut yang mudah berinteraksi dengan bahan yang akan dikelupas, mengurangi energi dari pengelupasan, dan mengurangi agregasi kembali lembaran yang terkelupas. *Intercalating agents*, surfaktan, dan fungsionalisasi kimia digunakan untuk mengurangi interaksi van der Waals dan menjaga produk pengelupasan yang tersuspensi dalam larutan (Cai et al., 2012)

Selain melalui ultrasonikasi, teknik yang paling efektif dalam menyayat atau mengelupas lapisan rGO adalah dengan menggunakan bantuan material asam, seperti HCl maupun H₂SO₄ agar asam kuat tersebut menyisip di antara lapisan rGO.

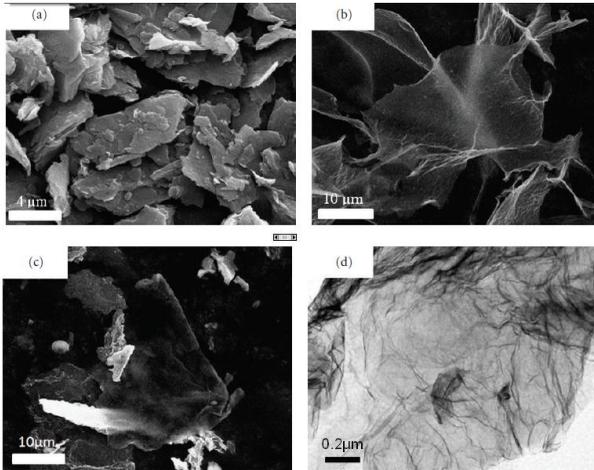
Kemudian larutan diberi perlakuan panas hingga 70°C sebagai tambahan energi dan diaduk sehingga ikatan *Van der Waals* antar lapisan akan melemah dan mudah terlepas. Lepasnya ikatan ini disebabkan oleh ukuran asam yang cukup besar dibandingkan dengan jarak antar lapisan rGO, sehingga asam yang tersisip akan melebarkan jarak antar lapisan (Putra, 2017). Atom – atom 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) membentuk ikatan C-Cl dan atom hidrogen (H) berikatan dengan atom oksigen (O) dan pada akhirnya atom – atom akan hilang sebagian dalam bentuk gas selama proses pengadukan (Pradana, 2017). Mekanisme terjadinya proses eksfoliasi ditunjukkan oleh Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Mekanisme Eksfoliasi
(Ghosh, 2014)

Berdasarkan penelitian Loryuenyong (2013), setelah dilakukan proses eksfoliasi menggunakan asam dan ultrasonikasi, lembar grafena oksida menjadi lebih kecil dan transparan. Lembarannya sangat tipis sehingga berkas elektron dapat

dilewatkan melalui sampel. Hal ini ditunjukkan oleh hasil SEM dan TEM pada Gambar 2.10. Grafena oksida tereduksi yang terbentuk menunjukkan struktur keriput khas yang menyebabkan lembaran terlipat.

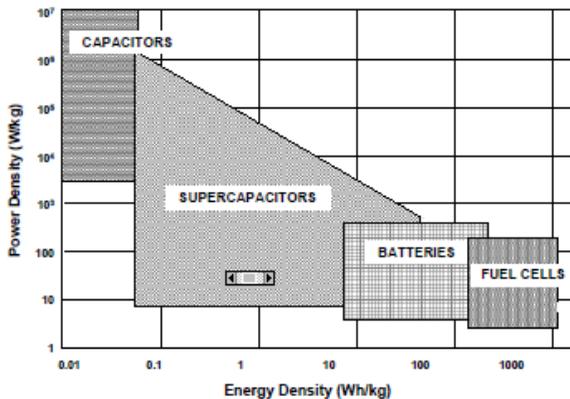


Gambar 2.10 (a) SEM grafit (b) SEM GO (c) SEM RGO (d) TEM RGO
(Loryuenyong et al., 2013)

2.6 Superkapasitor

Superkapasitor merupakan piranti penyimpan energi berkapasitas besar dengan kerapatan energi yang tinggi, rapat daya yang besar, pengisian ulang (*charge*) yang cepat, dan pengosongan muatan yang lebih tahan lama. Superkapasitor telah mampu menarik banyak perhatian karena rapat dayanya yang lebih tinggi dan siklus hidupnya yang lebih panjang jika dibandingkan dengan baterai, serta rapat energinya yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kapasitor konvensional (elektrolitik). Meskipun superkapasitor memiliki kerapatan energi yang lebih rendah dari baterai, namun dapat dengan mudah diisi ulang. Plot Ragone menunjukkan posisi berbagai alat penyimpan energi ditinjau dari energi spesifik dan daya spesifiknya seperti

ditunjukkan pada Gambar 2.11. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa superkapasitor menempati wilayah antara kapasitor dan baterai (Petricca et al., 2013). Beberapa perbedaan yang dimiliki oleh kapasitor, superkapasitor dan baterai dapat dilihat pada Tabel 2.1.



Gambar 2.11 Ragone Plot dari Perangkat Penyimpan Energi (Halper & Ellenbogen, 2006)

Superkapasitor dibagi menjadi dua jenis, yaitu *Electrical Double-Layer Capacitor* (EDLC) dan pseudokapasitor. *Electrical Double-Layer Capacitor* (EDLC) menggunakan material utama berupa karbon seperti grafit, grafena, *reduced graphene oxide* (rGO), *carbon nanotube* (CNTs), *carbon nanofibers* (CNFs), dan karbon berpori. Diantara berbagai karbon tersebut, grafena serta rGO merupakan material dengan konduktivitas listrik yang baik, luas permukaan spesifik yang besar, fleksibilitas yang tinggi, dan stabilitas kimia serta stabilitas termal yang menjadikannya luas diterapkan untuk superkapasitor. Pseudokapasitor menggunakan bahan elektroda yang berasal dari bahan redoks aktif meliputi *conducting polymer* dan nanopartikel oksida logam. Diantara berbagai oksida logam, Fe_3O_4 adalah material penting bagi superkapasitor karena biaya rendah, kelimpahan, kompatibilitas lingkungan, dan kapasitas teoritis yang tinggi. Namun Fe_3O_4

hanya memberikan kapasitansi yang rendah dalam larutan elektrolit karena konduktivitasnya buruk. Oleh karena itu beberapa penelitian memasukkan Fe_3O_4 ke dalam bahan karbon, karena konduktivitasnya yang baik dapat meningkatkan kapasitansi secara signifikan (Li et al., 2017).

Berikut ini adalah perbandingan karakteristik dari kapasitor, superkapasitor, dan baterai.

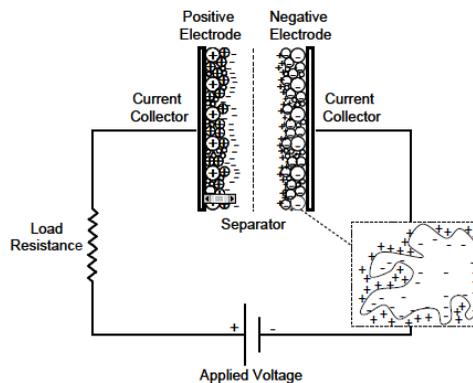
Tabel 2.1 Perbandingan pada Teknologi Penyimpanan Energi
(González et al., 2016)

Characteristics	Capacitor	Supercapacitor	Battery
Specific energy (W h kg^{-1})	< 0.1	1–10	10–100
Specific power (W kg^{-1})	$\gg 10,000$	500–10,000	< 1000
Discharge time	10^{-6} to 10^{-3}	s to min	0.3–3 h
Charge time	10^{-6} to 10^{-3}	s to min	1–5 h
Coulombic efficiency (%)	About 100	85–98	70–85
Cycle-life	Almost infinite	> 500,000	about 1000

Electrical Double-Layer Capacitor (EDLC) dibangun dari dua buah elektroda berbasis karbon, elektrolit, dan separator. Gambar 2.12 menunjukkan skematik dari EDLC. EDLC menyimpan muatan secara elektrostatis (non Faradaic), dimana pada mekanisme ini tidak ada transfer muatan antara elektroda dan elektrolit melainkan melalui distribusi muatan pada permukaan elektroda. EDLC menyimpan energi pada lapisan ganda elektrokimia. Tegangan yang diberikan akan menginduksi pemisahan muatan dan mendorong ion-ion dalam larutan elektrolit berdifusi melewati pemisah menuju elektroda dengan muatan yang berlawanan. Elektroda direkayasa untuk mencegah rekombinasi ion sehingga lapisan ganda muatan terbentuk pada masing-masing elektroda. Lapisan ganda ini akan semakin bertambah seiring dengan peningkatan luas permukaan dan penurunan jarak antara elektroda. Hal ini memungkinkan EDLC untuk mencapai kepadatan energi yang lebih tinggi daripada kapasitor konvensional. Karena pada EDLC tidak terjadi reduksi

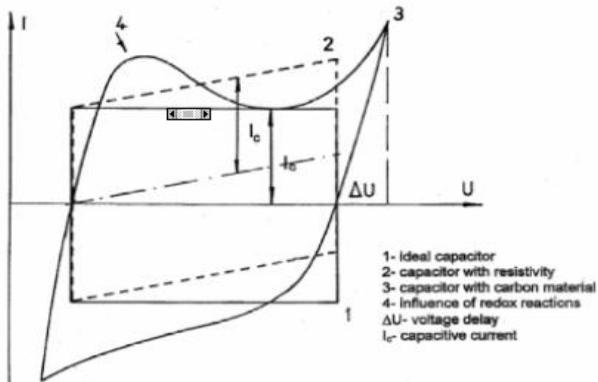
maupun oksidasi, hal ini mengakibatkan EDLC dapat memiliki daur hidup yang lebih panjang dan tidak mudah rusak ketika proses pengisian dan pemakaian (*charge discharge*) (Sharma & Bhatti, 2010). EDLC biasanya mampu beroperasi dengan karakteristik kinerja yang stabil untuk siklus *charge-discharge* tinggi mencapai 10^6 cycles. Sebaliknya baterai elektrokimia hanya mampu bekerja dengan siklus mencapai 10^3 (Halper & Ellenbogen, 2006).

Berbeda dengan EDLC yang menyimpan muatan secara elektrostatik, pseudokapasitor menyimpan muatan secara Faradaic melalui transfer muatan antara elektroda dan elektrolit. Hal ini dilakukan melalui reaksi *electrosorption*, reduksi-oksidasi, dan proses interkalasi. Proses Faradaic ini memungkinkan pseudokapasitor untuk mencapai nilai kapasitansi dan rapat energi yang lebih besar daripada EDLC (Halper and Ellenbogen, 2006). Kapasitansi pseudokapasitor 10-100 kali lebih tinggi daripada kapasitansi EDLC. Namun, pseudokapasitor memiliki rapat daya yang relatif lebih rendah daripada EDLC karena proses faradaic biasanya lebih lambat daripada proses nonfaradaic. Selain itu, karena reaksi redoks terjadi pada elektroda, pseudokapasitor memiliki stabilitas yang kurang (Wang, 2012).



Gambar 2.12 Skema *Electrical Double-Layer Capacitor* (EDLC) (Halper & Ellenbogen, 2006)

Berbagai tipe superkapasitor dapat dilihat dari jenis kurva *cyclic voltammogram*-nya. Gambar 2.13 menunjukkan perbedaan kurva *cyclic voltammogram* pada superkapasitor yang ideal dan *real*. Kapasitor ideal akan menampilkan bentuk persegi panjang (*rectangular*) yang menunjukkan pola *charging discharging* yang sama, dimana hal ini menandakan bahwa *charging discharging* berlangsung dalam waktu yang sama. Kapasitor resistif ditandai oleh bentuk kurva CV yang *rectangular* dan miring keatas, hal ini menandakan adanya peningkatan *current density* seiring dengan penambahan nilai voltase. Voltammogram EDLC yang paling nyata berbentuk jajar genjang dengan puncak yang tidak beraturan. Adanya puncak menonjol (*hump*) merupakan perilaku *pseudocapacitive*. Puncak tersebut yang menandakan terjadinya reaksi, baik oksidasi maupun reduksi (Namisnyk, 2003).



Gambar 2.13 Perbandingan Voltamogram Siklik Ideal dan Nyata (Namisnyk, 2003)

Grafena Oksida Tereduksi (RGO) seringkali menghadapi masalah serius, yaitu penggumpalan saat digunakan sebagai material elektroda akibat gaya *van der waals* antar lembaran rGO. Hal ini mengakibatkan nilai kapasitansinya menjadi 135 F/g lebih rendah dari 550 F/g secara teori. Oleh karena itu, adanya

penambahan glukosa sangat diperlukan karena peranannya sebagai penghalang (*spacer*) antar lapisan rGO. Dispersi partikel karbon yang berasal dari glukosa dikaitkan dengan luas permukaan spesifik dan jalur difusi pendek, yang merupakan pendekatan efektif untuk meningkatkan kapasitansi spesifik. Jika ditinjau dari segi morfologi, celah antara dua lapisan rGO dibentuk oleh pori yang dikendalikan oleh partikel karbon dari glukosa. Struktur ini memungkinkan cepatnya pengangkutan ion di dalam pori-pori. Sehingga karbon dari glukosa dapat meningkatkan aktivitas elektrokimia dari rGO selama proses siklus *charge / discharge* (Ma et al., 2014).

Elektroda superkapasitor yang berbasis campuran antara superkapasitor EDLC dengan pseudokapasitor telah terbukti menghasilkan nilai kapasitansi yang cukup tinggi. Penelitian Hidayat (2016) memanfaatkan rGO dari tempurung kelapa tua sebagai bahan elektroda superkapasitor dan diperoleh nilai kapasitansi rGO sebesar 13 F/g. Pada penelitian yang dilakukan oleh Du et al (2013), ditemukan bahwa ketika material grafena dan nitrogen dikombinasikan, maka dihasilkan nilai kapasitansi sebesar 233,3 F/g. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Ghasemi dan Ahmadi (2015) menggunakan rGO dan Fe_3O_4 yang menghasilkan kapasitansi sebesar 154 F/g. Selain itu, penelitian terkait juga dilakukan oleh Naderi et al (2016) dengan menggunakan grafena, Fe_3O_4 , dan nitrogen sehingga diperoleh komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{NRGO}$ dengan kapasitansi sebesar 355 F/g. Selain itu, penggunaan glukosa juga telah terbukti meningkatkan nilai kapasitansi EDLC dari 209 F/g menjadi 273 F/g (Ma et al., 2014). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan mengkombinasikan rGO, Fe_3O_4 , glukosa, dan nitrogen dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan energinya. Sehingga hal ini merupakan hal yang menarik, apabila rGO grafit yang pada umumnya digunakan dapat digantikan oleh rGO tempurung kelapa untuk menghasilkan superkapasitor yang ramah lingkungan serta memiliki nilai kapasitansi yang tinggi.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain saringan *mesh* 200, *furnace*, *crucible*, timbangan digital, mortar, gelas beker, gelas ukur, thermometer, corong, spatula, pipet tetes, *aluminium foil*, *plastic wrap*, *ultrasonic cleaner*, *centrifuge*, *flowmeter*, *hot plate*, *magnetic stirrer*, serta peralatan karakterisasi sampel yaitu alat uji XRD (*X-Ray Diffractometer*), XRF (*X-Ray Fluorescence*), CHONS (*Carbon, Hydrogen, Oxygen, Nitrogen, Sulfur*) SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*), PSA (*Particle Size Analyzer*), CV (*Cyclic Voltametry*).

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain tempurung kelapa tua, *Hydrochloric Acid* (HCl), aquades, *Dextrose Monohydrate* (glukosa), *Iron (III) Chloride Hexahydrate* ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), gas N_2 , *Pottasium Hydroxide* (KOH), pasta perak (*silver conductive paste*), dan alkohol.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Tahap Preparasi Arang Tempurung Kelapa

Tahap pertama dari penelitian ini adalah tempurung kelapa tua dibersihkan dari serabutnya sehingga hanya tersisa bagian tempurung kelapa yang keras saja. Kemudian tempurung kelapa tersebut dibakar diatas nyala api hingga menghitam dan terbentuk arang tempurung kelapa. Pembakaran ini dilakukan untuk mengurangi kadar air, meningkatkan kadar karbon dalam arang, dan mengurangi unsur-unsur impuritas yang mudah menguap.

3.2.2 Tahap Pembuatan Serbuk Arang Tempurung Kelapa

Arang hasil pembakaran kemudian dihaluskan menggunakan mortar dan diayak dengan saringan berukuran 200 mesh. Arang tersebut dijadikan serbuk agar diperoleh distribusi panas yang lebih merata dan homogen ketika dikarbonisasi

3.2.3 Tahap Pemanasan Serbuk Arang Tempurung Kelapa

Proses pemanasan tempurung kelapa dilakukan didalam *furnace* pada atmosfer udara bebas dengan suhu 400°C dan waktu penahanan 5 jam. Pada proses ini terjadi penyusutan massa serbuk, dimana telah terjadi penguraian bahan-bahan organik yang terkandung di dalam tempurung kelapa seperti CO, CH, H₂ dan CH₄.

3.2.4 Tahap Sintesis

Pada tahap sintesis terjadi proses eksfoliasi kimia dan mekanik. Proses eksfoliasi kimia melalui pencampuran serbuk arang tempurung kelapa dengan HCl. Serbuk dicampurkan dengan HCl 1 M dengan perbandingan komposisi 1:1 dan diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan suhu 70°C. Kemudian suspensi tersebut ditambahkan dan dicampurkan dengan FeCl₃.6H₂O dan glukosa. Variasi yang digunakan adalah perbandingan massa sehingga diperoleh sampel dengan perbandingan serbuk rGO : HCl : Fe³⁺ : Glukosa sebesar 2:2:1:0 (22010) dan 2:2:1:2 (22012). Setelah itu dilakukan proses *bubbling* gas nitrogen dengan temperatur 70°C. Laju alir gas yang digunakan adalah 1.6 L/menit dengan variasi waktu 0,5 menit, 1 menit, 1,5 menit, 5 menit, dan 20 menit sehingga diperoleh sampel 2:2:1:2 (0,5 menit) (N0.5), 2:2:1:2 (1 menit) (N1), 2:2:1:2 (1,5 menit) (N1.5), 2:2:1:2 (5 menit) (N5), dan 2:2:1:2 (20 menit) (N20). Semua proses ini dilakukan pada temperature 70°C yang diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 350 rpm selama 20 jam. Kemudian dilakukan proses eksfoliasi mekanik pada larutan tersebut dengan menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 6 jam. Setelah itu dilakukan proses sentrifugasi menggunakan *centrifuge*

selama 40 menit. Hasil yang didapatkan dikeringkan dengan metode *hot drying* menggunakan *hot plate* hingga menjadi serbuk.

3.2.5 Tahap Pembuatan Elektroda Superkapasitor

Pada proses pembuatan elektroda superkapasitor, sampel yang berbentuk serbuk dicetak menjadi pellet dengan menggunakan kompaksi hidrolik manual dan cetakan (*molding*) yang berdiameter 13 mm. Sampel yang dicetak memiliki berat 0.2-0.3 gram. Selanjutnya pellet tersebut dilapisi dengan pasta perak hingga seluruh permukaan terlapisi.

3.2.6 Tahap Karakterisasi

Karakterisasi material yang dilakukan meliputi :

a. *X-Ray Diffractometer* (XRD)

Uji XRD bertujuan untuk mengetahui fasa yang terkandung dalam material. Dalam penelitian ini, pengujian XRD dilakukan pada sampel serbuk arang tempurung kelapa. Pengujian dilakukan pada rentang sudut 5° - 55° menggunakan *Philips X'Pert MPD (Multi Purpose Diffractometer)* dengan radiasi $\text{Cu-K}\alpha$ 1.54060 Å di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

b. *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX)

Uji SEM-EDX bertujuan untuk mengetahui mikrostruktur, bentuk morfologi, ukuran ketebalan material, serta kadar unsur dan komposisi kimia dalam suatu material. Dalam penelitian ini, pengujian SEM-EDX dilakukan pada sampel serbuk arang tempurung kelapa. Pengujian SEM-EDX dilakukan di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

c. *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan Analisis CHONS (*Carbon, Hydrogen, Oxygen, Nitrogen, Sulfur*)

Uji XRF dan CHONS bertujuan untuk mengetahui prosentasi kandungan yang terdapat pada serbuk arang tempurung kelapa. Pengujian CHONS dilakukan di Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan menggunakan metoda analisis ASTM D 5373-2002, ASTM D3177-2002, Balance, dan SNI 02-3776-2005. Pengujian XRF tipe PANalytical Minipal 4 dilakukan di Universitas Negeri Malang

d. *Particle Size Analyzer (PSA)*

Uji PSA bertujuan untuk mengukur ukuran partikel rGO sebelum dan setelah dilakukan proses eksfoliasi kimia dan mekanik. Pengujian PSA dilakukan di Laboratorium Zat Padat Departemen Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

e. *Cyclic Voltammetry (CV)*

Uji *cyclic voltammetry* bertujuan untuk karakterisasi sifat kapasitansi dari elektroda yang dihasilkan. Uji CV dilakukan di Departemen Teknik Kima ITS. 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*). Parameter pengujian digunakan larutan KOH dengan konsentrasi 6 M. 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 :

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

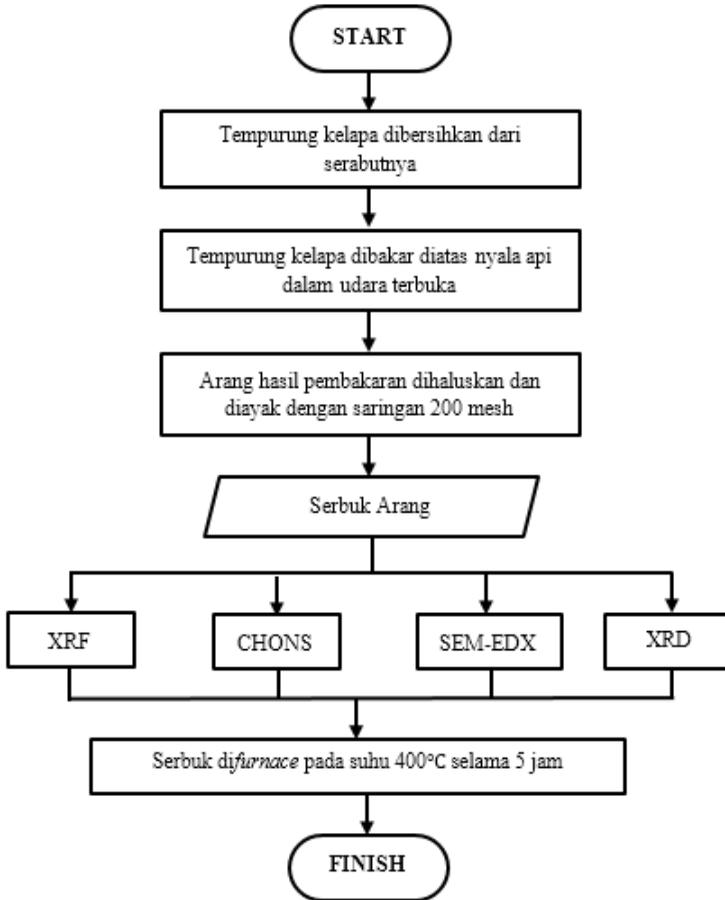
$$W = \frac{1}{2} C (|V_2 - V_1|)^2 \quad (3.2)$$

dengan C adalah kapasitansi (F/g), I adalah persamaan respon arus terhadap tegangan, m adalah massa elektroda (g), dan ΔV adalah *scan rate* (v/s), V_2 adalah potensial *window* atas (V), V_1 adalah potensial *window* bawah (V), W adalah rapat energi (J/g). Perhitungan tersebut dilakukan dengan menggunakan *Matlab* dan *Microsoft Excel*.

3.3 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Preparasi Serbuk Arang Tempurung Kelapa

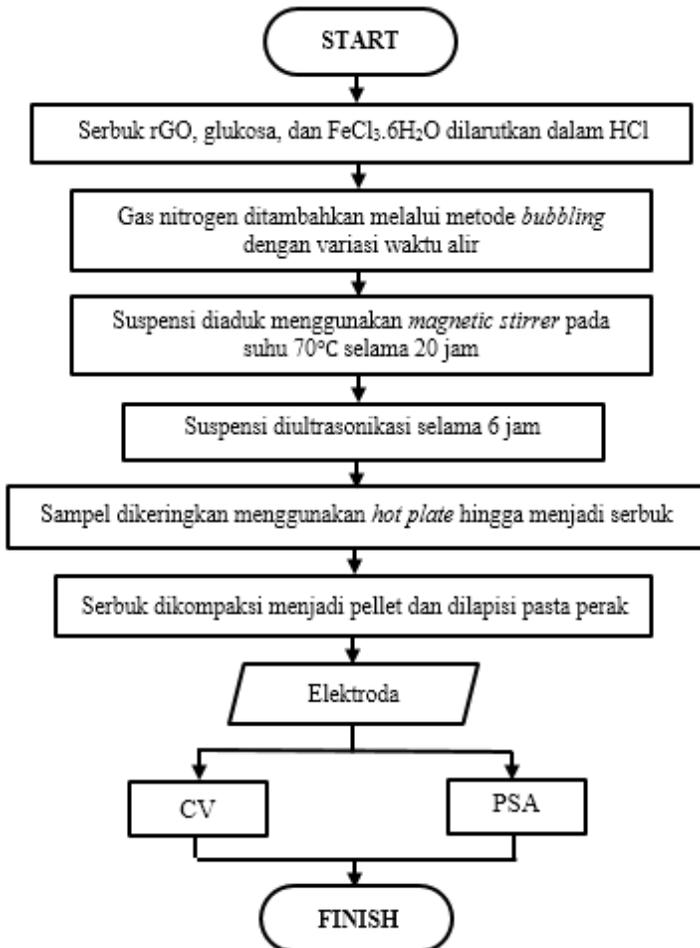
Berikut ini adalah diagram alir untuk proses preparasi serbuk arang tempurung kelapa.



Gambar 3.1 Diagram Alir Preparasi Serbuk Arang Tempurung Kelapa
Tua

3.3.2 Sintesis Elektroda Superkapasitor

Berikut ini adalah diagram alir untuk proses sintesis elektroda superkapasitor



Gambar 3.2 Diagram Alir Sintesis Elektroda Superkapasitor

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB IV

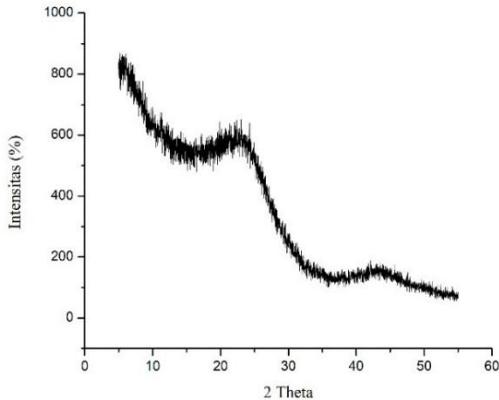
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Bahan Dasar

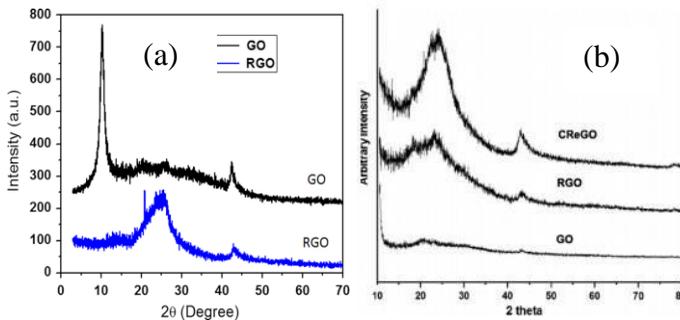
4.1.1 Analisis Fasa Serbuk Arang Tempurung Kelapa

Fasa dari serbuk arang tempurung kelapa diidentifikasi melalui pengujian XRD (*X-Ray Diffractometer*) dengan menggunakan rentang sudut pendek 5° - 55° dan panjang gelombang $1,54060 \text{ \AA}$. Serbuk arang merupakan hasil dari proses pembakaran tempurung kelapa tua di udara terbuka yang telah dihaluskan dan belum dipanaskan atau *difurnace*. Serbuk tempurung kelapa merupakan bahan alam dan bukan bahan sintesis, serta tergolong sebagai bahan organik. Material yang terbentuk oleh alam biasanya memiliki struktur zat padat amorf. Hal ini terbukti dengan pola difraksi yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pola *diffractogram* tersebut menghasilkan struktur amorf dengan puncak yang tidak tajam. Puncak lebar yang terbentuk berada pada posisi 2θ sebesar $22,91^{\circ}$ dan $43,49^{\circ}$. Munculnya puncak lebar di sekitar sudut 23° merupakan refleksi dari bidang (002) dan puncak lebar di sekitar sudut 43° merupakan refleksi dari bidang (100). Hal ini sesuai dengan pencocokan secara kualitatif dari penelitian menggunakan metode Hummer yang dilakukan oleh Fu pada tahun 2013 seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.5b. Selain itu penelitian yang dilakukan Sarkar pada tahun 2014, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 4.2 (a) menyatakan bahwa puncak utama GO berada pada $2\theta = 10,28^{\circ}$ dan 43° , sedangkan pada rGO puncak utama terdapat pada $2\theta = 24^{\circ}$ dan 43° . Penelitian Park pada tahun 2011 yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2 (b) juga menyatakan hal serupa bahwa dalam pola *diffractogram* rGO (*reduced graphene oxide*) puncak utama diamati pada sekitar 23° - 24° dan 43° - 44° serta memberi jarak antar *layer* sekitar $3,7$ - $3,8 \text{ \AA}$. Jarak interlayer ini jauh lebih kecil dari GO yaitu $8,32 \text{ \AA}$ (Park, 2011). Meningkatnya jarak interlayer GO disebabkan oleh meningkatnya gugus fungsional yang mengandung oksigen, dimana hal ini

menunjukkan bahwa grafit telah teroksidasi. Namun, gugus fungsional yang mengandung oksigen dari GO tidak sepenuhnya tereduksi. Dengan demikian, pencocokan kualitatif ini telah mengindikasikan bahwa pola difraksi arang tempurung kelapa setelah dilakukan proses pembakaran telah mempunyai fasa rGO.



Gambar 4.1 Grafik Pola *Diffractogram* rGO dari Serbuk Arang Tempurung Kelapa



Gambar 4.2 Referensi Pola Difraksi (a) *Graphite Oxide* (GO) dan *Reduced Graphene Oxide* (RGO) (Sarkar, 2014), (b) *Reduced Graphene Oxide* (CReGO), *Reduced Graphite Oxide* (RGO), *Graphite Oxide* (GO) (Park, 2011)

4.1.2 Analisis Komposisi Serbuk Arang Tempurung Kelapa

Komposisi unsur dari bahan dasar arang tempurung kelapa yang merupakan rGO diidentifikasi melalui pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan analisis CHONS (*Carbon, Hydrogen, Oxygen, Nitrogen, Sulfur*). Analisis CHONS dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur utama dari material rGO sedangkan pengujian XRF untuk mengetahui unsur pengotor dari material rGO. Istilah fluoresensi pada pengujian XRF ditujukan pada fenomena penyerapan radiasi yang energinya lebih tinggi dan menghasilkan emisi radiasi kembali yang energinya lebih rendah. Pada pengujian XRF, elektron dari kulit atom bagian dalam akan terlepas sehingga elektron yang berada pada bagian kulit luar akan berpindah pada kulit yang ditinggalkan tadi dengan melepaskan energi berupa pemancaran sinar-X dengan panjang gelombang karakteristik bagi unsur tersebut. Intensitas sinar-X karakteristik tersebut sebanding dengan konsentrasi atom di dalam sampel uji, sehingga dengan membandingkan intensitasnya terhadap suatu standar yang telah diketahui konsentrasinya maka konsentrasi dari unsur yang terkandung dalam sampel dapat ditentukan. Pada pengujian komposisi unsur utama dari material rGO melalui analisa CHONS digunakan standar metode ASTM D5373-2002 untuk pengujian kandungan Karbon (C), Hidrogen (H), dan Nitrogen (N). Sedangkan untuk pengujian kandungan Sulfur (S) digunakan standar metode ASTM D3177-2002, pengujian kandungan Fosfor (P) digunakan standar metode SNI 02-3776-2005, dan pengujian kadar oksigen digunakan metode *balance*.

Unsur yang dapat dianalisis melalui pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) adalah unsur dengan nomor atom kecil yaitu mulai unsur Natrium (Na) sampai dengan unsur dengan nomor atom besar yaitu uranium (U). Sedangkan untuk nomor atom yang lebih kecil dari Natrium dilakukan menggunakan pengujian analisis CHONS. Persentase dari masing-masing unsur yang terdapat di material rGO ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

Perhitungan dilakukan melalui perbandingan persentase hasil pengujian XRF dan pengujian CHONS.

Tabel 4.1 Hasil Analisis Komposisi Bahan Dasar

Unsur	Presentase (%)
C	53,650
H	6,262
O	34,080
N	0,099
S	0,011
P	0,195
K	5,002
Fe	0,136
Ni	0,022
Cu	0,300
Zn	0,065
Rb	0,071
Yb	0,018
Re	0,059
Os	0,030

Dari Tabel 4.1 terdapat 15 unsur yang terkandung dalam serbuk tempurung kelapa tua, dimana karbon menduduki persentase tertinggi yakni sebesar 53,65%. Selain karbon, terdapat unsur utama penyusun rGO yaitu oksigen sebesar 34,080% dan hidrogen sebesar 6,262 %. Presentase ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Nasrullah pada tahun 2014 yang menyatakan bahwa tempurung kelapa tua mengandung 53,3% karbon, 35,17% oksigen, dan 6,4% hidrogen. Karbon, oksigen, dan hidrogen

merupakan unsur penyusun dari bahan organik. Arang tempurung kelapa adalah produk yang diperoleh dari pembakaran tidak sempurna terhadap tempurung kelapa. Pembakaran tidak sempurna ini yang menyebabkan senyawa karbon kompleks tidak hanya teroksidasi menjadi karbondioksida, melainkan energi panas dari pembakaran mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon kompleks tersebut sebagian besar terurai menjadi karbon atau arang (Sutrisno, 2016). Kandungan C pada tempurung kelapa memiliki nilai yang tinggi karena selulosa, hemiselulosa, dan lignin merupakan senyawa organik dengan banyak rantai karbon.

Setelah melalui pemanasan dengan suhu 400°C selama 5 jam terjadi peningkatan komposisi karbon menjadi 81,48% dan penurunan komposisi oksigen menjadi 9,02% (Putra, 2017). Hal ini mengindikasikan bahwa telah terbentuk grafena oksida tereduksi (rGO) yang ditandai dengan tereduksinya atom-atom oksigen akibat pemanasan yang dilakukan pada sampel. Selain itu, unsur-unsur pengotor yang dimiliki oleh serbuk tempurung kelapa tua meliputi sulfur, pospor, kalium, besi, nikel, tembaga, seng, rubidium, iterbium, renium, dan osmium. Unsur-unsur tersebut dapat berasal dari unsur hara yang terkandung di dalam tanah, dimana selanjutnya unsur hara tersebut diserap oleh pembuluh *xylem* pada pohon kelapa dan didistribusikan ke seluruh bagian pohon kelapa termasuk buah kelapa. Kalium merupakan impuritas terbesar yang terkandung dalam serbuk arang tempurung kelapa. Kalium banyak ditemukan pada hasil pembakaran material biomassa, dimana unsur ini terikat pada struktur organik dalam biomassa sebagai hemiselulosa (Clery et al., 2018). Tempurung kelapa tua mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang tinggi sehingga ditemukan banyak kandungan kalium dari serbuk rGO yang dihasilkan. Selain itu, impuritas kalium ini dapat disebabkan oleh kandungan kalium yang juga berasal dari air kelapa. Air kelapa mengandung 356 mg/100 mL kalium, dimana kalium merupakan mineral terbesar yang terkandung dalam air kelapa (Prades et al., 2012). Selain

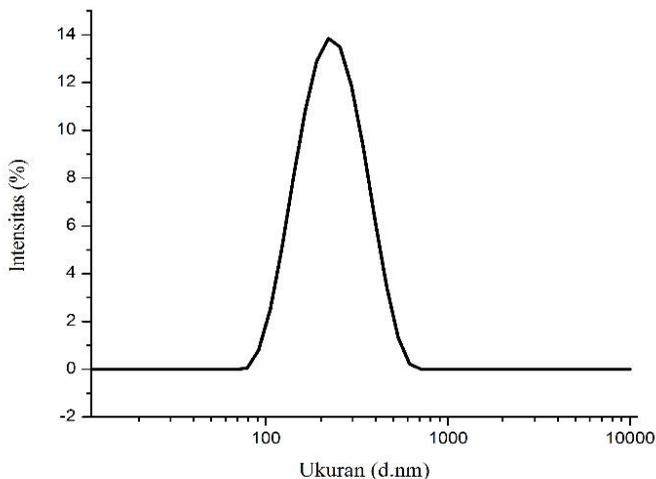
kalium, juga terdapat pengotor lain yang berperan dalam memberikan sifat magnetik dan elektrik dari sampel rGO yaitu nikel (Ni), tembaga (Cu), dan besi (Fe).

4.1.3 Analisis Distribusi Ukuran Partikel Serbuk Arang Tempurung Kelapa

Ukuran partikel dari serbuk tempurung kelapa tua yang merupakan rGO dapat diidentifikasi melalui karakterisasi PSA (*Particle Size Analyzer*). Alat ini mengukur gerak *Brownian* dari partikel dalam larutan menggunakan prinsip hamburan cahaya dinamis atau DLS (*Dynamic Light Scattering*). Ketika sinar laser ditembakkan ke dalam larutan dan menabrak partikel maka gelombang cahaya akan terhambur. Karena partikel-partikel akan terus melakukan gerak Brown maka posisi partikel berfluktuasi, sehingga intensitas cahaya yang tersebar juga berfluktuasi. Intensitas cahaya yang dihamburkan oleh partikel bergantung pada pergerakan dan ukuran partikel dalam larutan tersebut. Jadi, cahaya yang dihamburkan oleh partikel dideteksi sebagai sinyal dengan fluktuasi yang sesuai dengan kecepatan gerak Brown. Ketika partikel dalam larutan memiliki ukuran yang kecil, maka pergerakan partikelnya cepat, dan waktu korelasi yang dihitung akan semakin cepat. Sedangkan ketika partikel dalam larutan memiliki ukuran yang besar, maka pergerakan partikelnya lambat dan waktu korelasi yang dihitung akan semakin lambat. Cepat lambatnya pergerakan partikel berhubungan dengan ruang gerak dari partikel tersebut didalam larutan. Hasil pengujian PSA ini dapat dibentuk dalam grafik intensitas-ukuran partikel seperti ditunjukkan dari grafik pada Gambar 4.3.

Berdasarkan hasil pengujian PSA, puncak yang dihasilkan oleh sampel rGO hanya membentuk satu puncak dalam satu kurva, dimana hal ini mengindikasikan bahwa sampel yang diuji memiliki sifat *monodisperse* dalam larutan. *Dispersant* yang digunakan sebagai pelarut pada sampel rGO adalah air. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh hasil bahwa ukuran rata-rata partikelnya adalah sebesar 209 nm dengan rentang ukuran

antara 70 hingga 700 nm. Homogennya ukuran partikel rGO menyebabkan tingkat dispersitas yang tinggi, dimana hal ini ditunjukkan oleh nilai PdI sebesar 0,132. Nilai PdI sangat bergantung pada tingkat polidispersitas suatu larutan selama proses pengukuran PSA. Distribusi ukuran partikel rGO ditunjukkan oleh Gambar 4.3. Distribusi ukuran ini serupa dengan penelitian Hidayat pada tahun 2016 yang juga menghasilkan satu puncak dengan ukuran rata-rata partikel rGO sebesar 300 nm dengan rentang ukuran antara 150 nm sampai dengan 550 nm. Ukuran partikel ini selanjutnya akan disayat melalui proses eksfoliasi kimia-mekanik agar ketebalan serbuk rGO tereduksi dan mampu meningkatkan luas permukaan total dari serbuk sehingga mampu meningkatkan kapasitansi yang dihasilkan.



Gambar 4.3 Hasil Uji PSA Sampel rGO

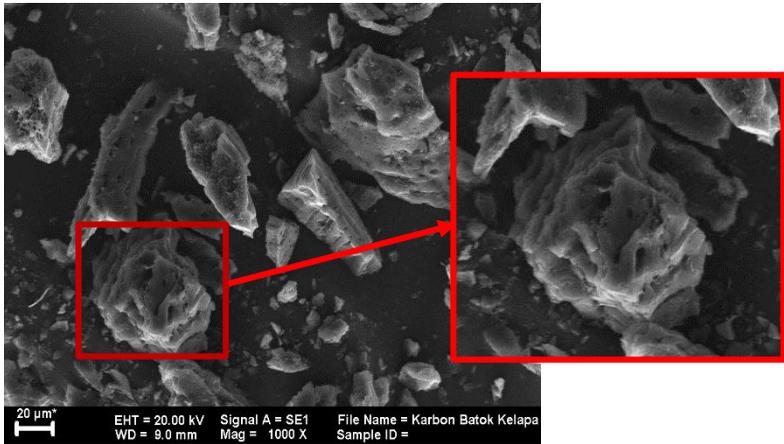
4.1.4 Analisis Morfologi Serbuk Arang Tempurung Kelapa

Morfologi dari serbuk arang tempurung kelapa tua dianalisa melalui pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Selain morfologi atau bentuk permukaan sampel, SEM juga memberi

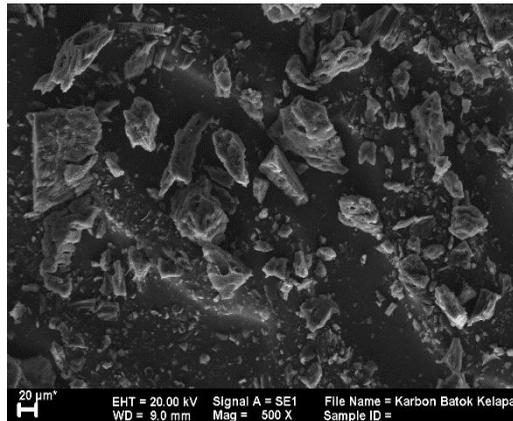
informasi berupa ukuran butir. Berdasarkan Gambar 4.4 (a), dapat diamati bahwa morfologi yang terbentuk masih berupa bongkahan yang terdiri dari beberapa *layer* yang menumpuk dan tersusun secara tidak teratur (*flakes*). Hal ini mengindikasikan bahwa struktur dari bahan dasar serbuk arang tempurung kelapa tua yang sudah berupa tumpukan membentuk lapisan yang tidak homogen dan ukuran partikel yang bervariasi. Dengan morfologi yang demikian, maka perlu adanya proses eksfoliasi lebih lanjut agar lapisan yang membentuk bongkahan tersebut mampu tersayat menjadi lapisan-lapisan yang lebih tipis. Selain itu, distribusi morfologi yang dihasilkan pada sampel juga bervariasi. Hal ini disebabkan oleh aglomerasi antar partikel sehingga distribusi partikelnya berbeda-beda. Partikel yang dibentuk dari serbuk arang tempurung kelapa menurut hasil SEM menunjukkan ukuran dalam orde mikrometer. Pengukuran ini berdasarkan pada penampang lintang dari partikel. Dari hasil SEM tersebut juga diperoleh hasil gambar berupa hitam putih/gelap terang, dimana hasil gambar hitam putih/gelap terang ini dipengaruhi oleh unsur penyusunnya. Unsur dengan nomor atom lebih tinggi akan menghasilkan warna yang lebih terang/putih daripada unsur penyusun dengan nomor atom yang lebih rendah. Morfologi permukaan sampel diinterpretasikan oleh Gambar 4.4.

Melalui analisa EDX (*Energy Dispersive X-ray*), dapat diketahui jenis unsur penyusun material yang ada dalam sampel, sekaligus mengetahui nilai % berat dan % atomik dari semua unsur penyusun tersebut, serta persebaran unsur-unsurnya dalam sampel yang diuji. Setelah sinar-X ditembakkan pada sampel, maka akan muncul puncak-puncak tertentu berupa garis spektrum yang menjadi perwakilan setiap unsur yang terdapat pada sampel tersebut. Berdasarkan karakterisasi SEM-EDX ini, sampel mengandung 78,42 wt% C, 20,83 wt% O, dan 0,77 wt% K, serta 83,18 at% C, 16,57 at% O, dan 0,25 at% K. Pada Gambar 4.4 (c) yang menunjukkan pemetaan unsur dari Gambar 4.4(b) juga terlihat bahwa karbon merupakan unsur dominan pada sampel yang diinterpretasikan dengan warna merah. Karbon dan oksigen

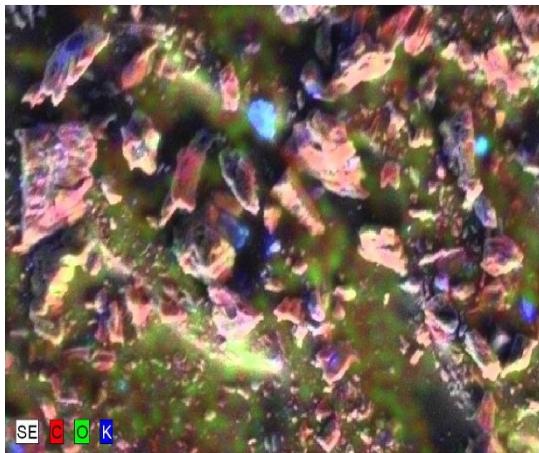
merupakan unsur penyusun dari rGO sedangkan kalium merupakan unsur impuritas dari rGO, dimana hasil ini sesuai dengan pengujian XRF dan CHONS sebelumnya. Karbon yang tersebar sempurna di seluruh serbuk menandakan bahwa serbuk memiliki persebaran yang baik.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4 Morfologi Serbuk rGO (a) SEM Perbesaran 1000x (b) SEM Perbesaran 500x (c) SEM-EDX

4.2 Analisis Bahan Elektroda Superkapasitor

4.2.1 Analisis Kapasitansi Spesifik Elektroda Superkapasitor

Kapasitansi dari serbuk arang tempurung kelapa tua dikarakterisasi melalui pengujian CV (*Cyclic Voltametry*). Sampel yang diuji sebanyak 7 buah yaitu sampel dengan perbandingan RGO : HCl : Fe^{3+} : Glukosa sebesar 2:2:1:0 (22010) dan 2:2:1:2 (22012), serta sampel 22012 dengan variasi waktu alir gas nitrogen sebesar 0,5 menit (N0.5), 1 menit (N1), 1,5 menit (N1.5), 5 menit (N5), dan 20 menit (N20). Ketujuh sampel yang masih berupa serbuk ini dipreparasi terlebih dahulu menjadi *pellet* melalui proses kompaksi menggunakan *manual hydraulic press* dengan massa serbuk sebesar 0,25 gram. *Pellet* tersebut dilapisi oleh pasta perak (*silver conductivity*) untuk memperluas kontak listrik antara *probe instrument* CV dengan *pellet*. *Cyclic Voltametry* menggunakan 3 buah elektroda yaitu elektroda referensi/ pembanding (*reference electrode*) berupa elektroda Ag/AgCl, elektroda penghitung (*counting electrode*) berupa

kawat Pt, dan elektroda uji (*working electrode*) yang merupakan sampel elektroda superkapasitor. Pada pengujian ini digunakan larutan KOH 6 M. KOH berperan sebagai larutan elektrolit yang mengatur jalannya arus dan proses difusi pada elektroda uji.

Uji CV menunjukkan plot respon arus terhadap tegangan yang diberikan pada elektroda uji (*working electrode*). Sumbu x merupakan parameter yang dikenakan pada sistem, yaitu potensial terapan (E), sedangkan sumbu y adalah respons yaitu arus yang dilewatkan (I). Hasil pengujian CV yang menunjukkan plot arus-tegangan ditunjukkan oleh Gambar 4.5 dan 4.6 Kurva yang dihasilkan tidak berbentuk persegi panjang yang jelas, sehingga hal ini menunjukkan kombinasi perilaku *pseudocapacitance* dan *Electric Double Layer Capacitance* (EDLC). Hasil pengukuran *Cyclic Voltametry* dihitung menggunakan persamaan 3.1. Berdasarkan persamaan tersebut, luas area yang dilingkupi oleh plot CV akan berbanding lurus dengan nilai kapasitansi yang dihasilkan. Hal ini berlaku apabila massa elektroda dan *scan rate* yang digunakan dibuat konstan. Pada penelitian ini massa elektroda adalah 0,25 gram dan *scan rate* yang digunakan sebesar 50 mV/s. *Scan rate* sebesar 50 mV/s digunakan agar tidak terjadi resistansi yang besar saat pengukuran. Selain itu, apabila digunakan *scan rate* yang terlalu besar maka ion akan berdifusi dengan cepat, namun hanya terbatas pada permukaan elektroda dan tidak mampu masuk hingga ke pori makro (Gong, 2015).

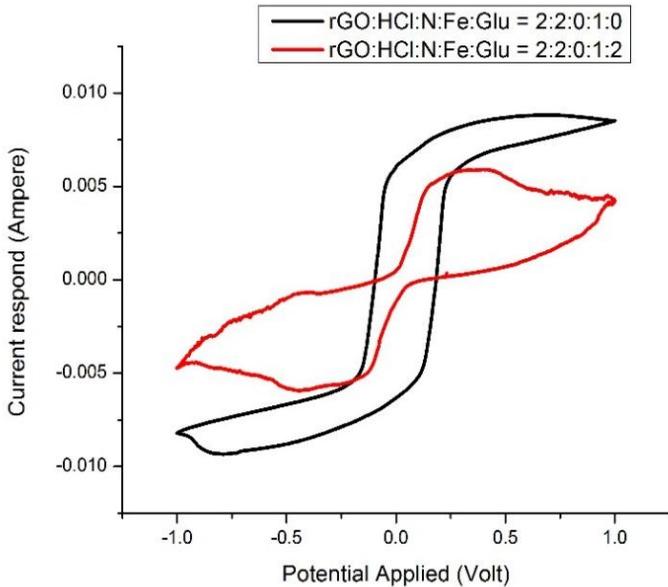
Pada Gambar 4.5 menunjukkan hasil pengujian *Cyclic Voltametry* pada sampel kontrol rGO. Nilai kapasitansi yang dihasilkan dari sampel 22010 dan 22012 mengalami peningkatan yang spesifik dibandingkan dengan rGO tempurung kelapa tanpa proses eksfoliasi kimia yang hanya menunjukkan kapasitansi sebesar 13 F/g (Hidayat, 2016). Setelah melalui proses eksfoliasi kimia dan mekanik, terjadi peningkatan luas permukaan dari serbuk yang disebabkan oleh menyisipnya atom Cl dan paparan gelombang ultrasonik pada lapisan rGO sehingga mampu meningkatkan kapasitansinya. Hal ini sesuai dengan hasil uji PSA (*Particle Size Analyzer*) yang menyatakan bahwa ukuran partikel

rGO mengalami penurunan, dan hal ini menandakan bahwa proses penyayatan berhasil dilakukan. Nilai kapasitansi superkapasitor sebanding dengan luas permukaan elektroda dan konstanta dielektrik antara dua elektroda, serta berbanding terbalik dengan jarak antar dua elektroda. Pada superkapasitor, ketebalan bahan dielektrik dibuat jauh lebih tipis sehingga menurunkan jarak antara elektroda. Pada penelitian ini, dilakukan upaya untuk memperluas permukaan elektroda dan konstanta dielektrik untuk meningkatkan nilai kapasitansi yang dihasilkan.

Proses eksfoliasi kimia dilakukan melalui penambahan HCl melalui proses *stirring*. Atom-atom Cl mampu menyisip diantara lapisan rGO karena adanya tambahan energi melalui proses pengadukan yang dibantu dengan pemberian temperatur sebesar 70°C. Energi eksternal yang berasal dari penambahan suhu selama pengadukan pada proses eksfoliasi kimia mampu memutuskan ikatan senyawa HCl. Hal ini dikarenakan energi eksternal berupa energi mekanik dan termal tersebut mampu melebihi energi ikatan yang dimiliki oleh senyawa HCl yaitu sebesar 432 kJ/mol (Clark, 2013). Pemutusan ikatan tersebut mengakibatkan atom karbon (C) yang memiliki empat elektron valensi dapat mengikat atom-atom klor (Cl) yang telah terlepas dari senyawa HCl sehingga membentuk ikatan C-Cl. Sementara itu, atom hidrogen (H) akan berikatan dengan atom oksigen (O) membentuk ikatan O-H. Namun selama proses pengadukan, sebagian ikatan O-H akan hilang dalam bentuk gas. Gas yang dihasilkan dapat memberi tekanan internal antar lapisan yang berdekatan sehingga mampu melepaskan ikatan *van der Waals* antar lapisan rGO. Adanya ikatan antara atom karbon (C) dan atom klor (Cl) mengakibatkan semakin renggangnya jarak antar lapisan rGO karena terjadi interkalasi atau penyisipan pada lapisan tersebut sehingga tidak terjadi aglomerasi partikel. Atom Cl memiliki jari-jari sebesar 0,099 nm (Ghosh & Biswas, 2002), sementara jarak antar lapisan rGO sebesar 0,37 nm (Fu et al, 2013). Ukuran atom Cl ini mempermudah untuk menyisip diantara lapisan rGO dan mampu mengurangi daya tarik antar lapisan dengan cara memperluas

jarak interlayer. Hal inilah yang melemahkan gaya *van der Waals* karena gaya ini berbanding terbalik dengan jarak interlayer. Setelah terjadinya penyisipan atom Cl yang berikatan dengan atom C, energi getaran yang diberikan melalui proses ultrasonikasi pada proses eksfoliasi mekanik juga akan membantu menyayat atau memutus ikatan antar lapisan rGO. Proses eksfoliasi mekanik ini dilakukan menggunakan *ultrasonic cleaner* dengan daya 600 Watt. Gelombang ultrasonik menimbulkan fenomena kavitasi, dimana fenomena ini memberikan gaya gesek yang tinggi antar partikel. Ultrasonik akan ditransmisikan melewati medium dengan menginduksikan gelombang suara ke dalam medium sehingga partikel rGO akan bergetar. Akibat adanya getaran itu, lapisan rGO akan meregang. Dengan demikian, proses eksfoliasi kimia dan mekanik telah mampu merenggangkan jarak antar lapisan rGO tersebut dan nilai kapasitansi juga semakin meningkat.

Pada ketujuh sampel terdapat material lain selain adanya material dasar berupa rGO dan asam dalam proses eksfoliasi kimia berupa HCl. Material tersebut adalah $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang memanfaatkan kation Fe^{3+} , dimana oksida logam merupakan material pseudokapasitor. Ketika langsung digunakan sebagai elektroda superkapasitor, Fe sendiri menunjukkan kemampuan yang rendah karena konduktivitas yang rendah, yang membatasi kecepatan transportasi elektron (Ke, 2014). Oleh karena itu, pada penelitian ini Fe diintegrasikan dengan karbon yaitu rGO, dimana lapisan rGO berfungsi sebagai saluran untuk difusi ion dan tempat penyebaran oksida logam tersebut. rGO mendukung sifat konduktifitas oksida logam sehingga menambah sifat pseudokapasitor yang dimilikinya. Perbandingan rGO dan Fe yang digunakan pada penelitian adalah 1:1, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Putra pada tahun 2017. Dengan memperbanyak konsentrasi Fe menjadi dua kali lipatnya terhadap rGO justru akan menyebabkan kapasitansinya menurun (Putra, 2017).



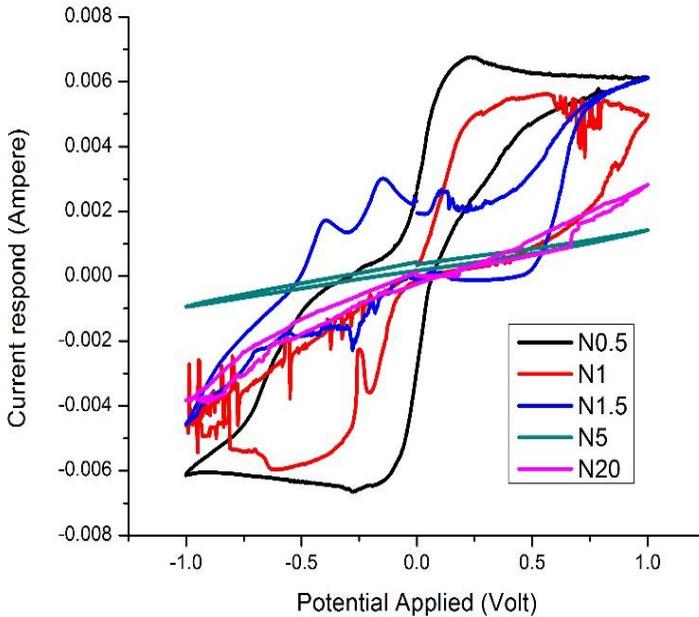
Gambar 4.5 Kurva *Cyclic Voltametry* untuk Sampel Kontrol

Adanya tambahan glukosa pada proses eksfoliasi kimia juga memberikan pengaruh terhadap meningkatnya nilai kapasitansi rGO. Pada sampel tanpa glukosa (22010) diperoleh nilai kapasitansi yang lebih kecil daripada sampel dengan adanya tambahan glukosa (22012). Sampel 22010 memiliki kapasitansi sebesar 20,67 F/g sedangkan sampel 22012 memiliki kapasitansi sebesar 23,67 F/g. Glukosa disini berperan sebagai *spacer* yang mampu menghalangi lapisan-lapisan pada rGO untuk mengalami aglomerasi. rGO memiliki kecenderungan untuk mengalami *re-stacking* atau penumpukan kembali karena adanya interaksi atau ikatan van der Waals antar lapisan. Aglomerasi akan menyebabkan rongga atau lapisan menjadi tertutup sehingga ion elektrolit tidak mampu menembus dan hal ini mengurangi luas permukaan efektif dari elektroda. Oleh karena itu, serbuk rGO

yang diberi tambahan glukosa selama proses eksfoliasi kimia memiliki nilai kapasitansi yang lebih besar. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dimana glukosa mampu meningkatkan nilai kapasitansi dari elektroda superkapasitor (Ma et al, 2014). Karena sampel 22012 memiliki nilai kapasitansi yang lebih baik, maka sampel tersebut dipilih sebagai sampel kontrol yang diberi perlakuan selanjutnya berupa penambahan nitrogen.

Hasil pengujian *Cyclic Voltametry* pada sampel dengan variasi waktu alir gas nitrogen ditunjukkan oleh Gambar 4.6. Secara kualitatif dapat diamati bahwa luasan grafik memiliki perbedaan yang signifikan. Terlihat bahwa terjadi pengurangan luasan grafik seiring dengan penambahan waktu alir gas nitrogen terhadap rGO. Dengan demikian penambahan gas nitrogen semakin memperkecil nilai kapasitansi dari elektroda superkapasitor. Pada kurva yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 terjadi beberapa gundukan (*hump*) yang merupakan indikator terjadinya proses reaksi kimia reduksi dan oksidasi antara permukaan elektroda dengan elektrolit KOH atau efek *pseudocapacitance*. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa superkapasitor ini bekerja dengan dua mekanisme, yaitu mekanisme ELDC dan mekanisme pseudokapasitor akibat adanya reaksi redoks. Nilai kapasitansi spesifik dan rapat energi pada sampel ditunjukkan oleh Tabel 4.2.

Dari variasi yang dilakukan, sampel N0.5 memiliki nilai kapasitansi yang paling tinggi yaitu sebesar 21,67 F/g, sedangkan N20 adalah sampel dengan nilai kapasitansi terkecil yaitu 0,55 F/g. Meskipun mengalami penurunan nilai kapasitansi dari sampel kontrol (22012), sampel N0.5 memiliki nilai kapasitansi yang lebih besar daripada sampel 22010, dimana sampel 22010 tidak diberi tambahan glukosa pada proses *stirring*. Hal ini membuktikan bahwa penambahan nitrogen bersama glukosa mampu meningkatkan kapasitansi walaupun tidak signifikan. Namun apabila semakin banyak nitrogen yang diberikan, semakin memperkecil nilai kapasitansi yang dihasilkan.



Gambar 4.6 Kurva *Cyclic Voltametry* untuk Sampel dengan Variasi Waktu Alir Gas Nitrogen

Atom karbon dapat berikatan dengan atom nitrogen membentuk *graphitic N*, *pyridinic N*, dan *pyrrolic N* (Yadav & Dixit, 2017). Namun pada penelitian ini tidak diidentifikasi konfigurasi ikatan yang terbentuk. Apabila doping nitrogen berhasil dilakukan, nitrogen mampu meningkatkan volume pori dan menggantikan beberapa atom karbon pada kisi sehingga menimbulkan cacat pada permukaan dan mempercepat transfer elektron. Nitrogen mampu meningkatkan *pseudocapacitance* karena proses reduksi-oksidasi permukaan yang cepat dan *reversible*. Peningkatan kinerja ini disebabkan oleh elektronegativitas nitrogen yang tinggi yang membentuk dipol di permukaan rGO. Dipol ini meningkatkan kecenderungan rGO untuk menarik muatan ke permukaannya. Meningkatnya adsorpsi

ion pada permukaan rGO akan menghasilkan peningkatan EDLC dan *pseudocapacitance* dalam perangkat penyimpanan energi. Namun proses reduksi oksidasi ini menjadi tidak efektif apabila luas permukaan rGO kecil, dan hal inilah yang menyebabkan rendahnya nilai kapasitansi pada sampel N1, N1.5, N5, dan N20. Meningkatkan luas permukaan bahan elektroda merupakan faktor penting dalam pseudokapasitor, seperti halnya dengan EDLC, karena reaksi faradaic dan non-faradaic terjadi di permukaan elektroda.

Selain luas permukaan elektroda, faktor selanjutnya yang menentukan nilai kapasitansi adalah konstanta dielektrik. Pada penelitian ini, konstanta dielektrik dipengaruhi oleh keberhasilan doping nitrogen pada grafena dan pengaitan Fe pada gugus O pada grafena. Hal ini disebabkan oleh beda keelektronegatifan yang tinggi sehingga menggambarkan banyaknya dipol dipol yang terbentuk. Akibatnya, akan terjadi banyak polarisasi dan menandakan bahwa permitivitas bahan telah meningkat. Dengan demikian, nilai kapasitansi yang dihasilkan juga semakin tinggi.

Berdasarkan data pada Tabel 4.2 dapat diamati bahwa semakin lama waktu alir gas nitrogen menyebabkan semakin kecilnya nilai kapasitansi yang dihasilkan. Pemberian gas nitrogen ini menyebabkan ukuran partikel semakin besar yang disebabkan oleh terjadinya aglomerasi. Tekanan gas selama proses *bubbling* justru menyebabkan terjadinya penumpukan pada lapisan rGO sehingga luas permukaan semakin mengecil dan mengurangi nilai kapasitansi spesifik dari elektroda superkapasitor. Aglomerasi atau penggumpalan ini dapat berasal dari glukosa, dimana dapat diamati secara spesifik bahwa terjadi penurunan nilai kapasitansi dari sampel kontrol yang menggunakan glukosa (sampel 22012) pada proses pencampuran. Glukosa hanya mampu berperan sebagai *spacer* sebelum diberi penambahan nitrogen melalui metode *bubbling*. Metode *bubbling* menyebabkan glukosa yang seharusnya berada diantara beberapa lapisan rGO justru hanya melapisi lapisan terluar sehingga membentuk lapisan yang tebal dan menggumpal. Hal ini

didukung oleh distribusi ukuran partikel yang dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan dijelaskan pada subbab selanjutnya.

Selain itu, nilai kapasitansi yang tidak meningkat juga disebabkan oleh nitrogen yang kemungkinan tidak terdoping secara maksimal selama proses *bubbling*. Hal ini dikarenakan ikatan antara N-N pada gas yang merupakan ikatan kovalen rangkap tiga, sulit untuk terputus dan berikatan dengan karbon, sehingga sebagian akan menguap kembali tanpa membentuk ikatan C-N. Hal ini sesuai dengan penelitian Rani *et al.* pada tahun 2013 yang menyatakan bahwa sebagian ikatan N-N menghasilkan interaksi lemah dengan ikatan C-C sedangkan sebagian lagi tidak berinteraksi sama sekali. Energi ikat dan panjang ikatan C-C masing-masing sebesar 8,05 eV/atom dan 1,42 Å, serta panjang ikatan N-N sebesar 1,11 Å (Rani *et al.*, 2013). Jarak ikatannya yang sangat pendek ini membuat ikatan pada gas nitrogen sulit terlepas, dan dibutuhkan energi di atas 946 kJ/mol untuk memutus ikatan tersebut. Sumber nitrogen yang berupa senyawa pada larutan akan lebih mudah untuk terdoping dibandingkan dengan sumber nitrogen berupa gas. Berdasarkan penelitian Kurniawan pada tahun 2018, elektroda dengan perbandingan komposisi massa yang sama dengan sampel N1, memiliki nilai kapasitansi yang lebih tinggi yaitu sebesar 37,33 F/g. Sumber nitrogen yang digunakan pada penelitian Kurniawan (2018) berupa larutan NH_4OH . Ikatan N pada senyawa NH_4OH akan lebih mudah terlepas dan selanjutnya dapat berikatan dengan ikatan karbon pada rGO. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Safitri pada tahun 2017, penambahan NH_4OH akan menghasilkan gugus fungsi C=C, C-N, C=N dan C=O. Atom N ini mensubstitusi atom karbon karena jari-jari atom yang hampir sama dengan jari-jari atom karbon sehingga terjadi substitusi N-doping (Safitri, 2017).

Kurva yang terbentuk pada sampel N5 dan N20 menunjukkan luasan yang sangat kecil tanpa adanya gundukan (*hump*) dan mendekati garis lurus. Garis lurus ini memiliki arti bahwa perubahan tegangan berbanding lurus dengan perubahan

arus, dan hal ini menunjukkan bahwa sampel tersebut bersifat resistif. Sifat resistif dari kurva ini dapat dihitung nilai kapasitifnya dengan nilai yang sangat kecil, yakni hanya sebesar 0,95 F/g untuk sampel N5 dan 0,55 F/g untuk sampel N20. Nilai ini menunjukkan angka yang lebih kecil dibandingkan sampel rGO sebelum perlakuan. Dengan demikian, perlu dikembangkan metode lain yang lebih efektif untuk doping nitrogen.

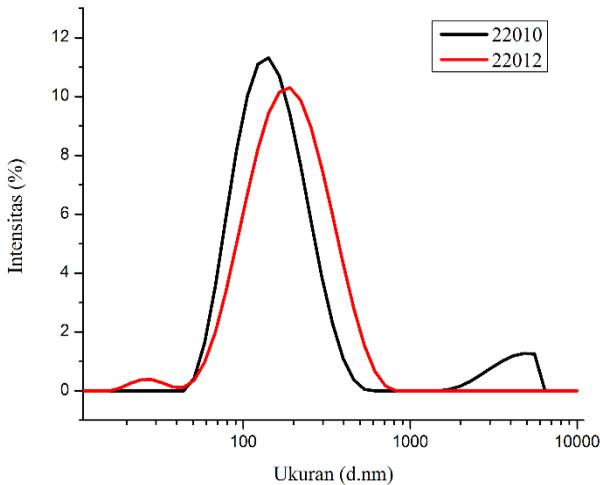
Tabel 4.2 Nilai Kapasitansi Spesifik dan Rapat Energi pada Sampel Elektroda Superkapasitor

No	Nama Sampel	Kapasitansi (F/g)	Rapat Energi (J/g)
1	22010	20,67	41,33
2	22012	23,67	47,33
3	N0.5	21,67	43,33
4	N1	18	36
5	N1.5	12	24
6	N5	0.95	1.91
7	N20	0.55	1.11

4.2.2 Analisis Distribusi Ukuran Partikel Elektroda Superkapasitor

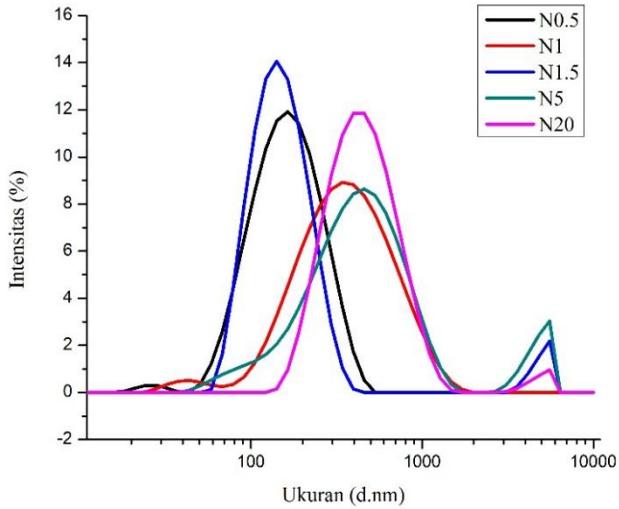
Ukuran partikel dan distribusi dari serbuk arang tempurung kelapa tua dalam suatu volume larutan diidentifikasi melalui pengujian PSA (*Particle Size Analyzer*). Hasil pengujian PSA dari penentuan sampel kontrol ditunjukkan pada Gambar 4.7. Grafik tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan hasil diameter ukuran partikel dan distribusi ukuran dari proses pencampuran serbuk arang dan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam larutan HCl setelah melalui proses ultrasonik dengan ada dan tidaknya glukosa dalam proses pencampuran. Pada sampel 22010 yaitu tanpa adanya glukosa, menghasilkan ukuran lapisan rGO sebesar

159,1 nm sebanyak 93,4% dan 4042 nm sebanyak 6,6%, sedangkan penggunaan glukosa menghasilkan ukuran diameter lapisan rGO sebesar 28,29 nm sebanyak 1,6% dan 210 nm sebanyak 98,4%. Presentase ini menunjukkan probabilitas dari banyaknya partikel yang melayang dan bergerak acak yang tertembak dalam volum larutan tersebut. Adanya dua puncak yang teridentifikasi menunjukkan bahwa distribusi ukuran serbuk pada larutan tidak homogen. Selain itu, adanya dua puncak juga mengindikasikan dua nilai yaitu ukuran yang merepresentasikan tebal lapisan rGO dan ukuran yang merepresentasikan diameter penampang lapisan rGO. Dari dua puncak yang ditunjukkan oleh Gambar 4.7 pada sampel 22012 terlihat bahwa terdapat serbuk rGO yang memiliki ukuran sekitar 200 nm yang dapat disebabkan oleh energi yang tidak cukup kuat untuk menyayat lapisan-lapisan rGO sehingga hanya sebagian saja yang mampu mencapai ukuran dibawah 100 nm. Selain itu, setelah penambahan glukosa kemungkinan juga terjadi beberapa penggumpalan bola karbon pada permukaan rGO sehingga menyebabkan ukuran partikel membesar. Hal ini serupa dengan penelitian Cheng *et al.* pada tahun 2015 yang disebabkan oleh penggunaan metode pengeringan *hot drying*. Suhu yang cukup tinggi pada proses pengeringan sampel menyebabkan glukosa pada *interlayer* yang semula tersebar rata pada sampel terkonsentrasi naik ke permukaan sampel, akibatnya sampel yang posisinya berada dibawah akan kembali menumpuk karena glukosa yang ada sebagai *spacer* telah hilang. Meskipun demikian, pada sampel 22012 sudah tidak terdapat partikel dengan ukuran diatas 1000 nm seperti pada sampel 22010. Dengan demikian, sampel dengan penambahan glukosa (22012) sebagian telah tereduksi ukurannya menjadi partikel yang lebih kecil, dimana hal ini juga sesuai dengan peran glukosa sebagai *spacer* yang mencegah penumpukan lapisan dan memperkecil ukurannya. Hal ini cocok dengan nilai kapasitansi yang dihasilkan sebagaimana dijelaskan pada subbab sebelumnya.



Gambar 4.7 Hasil Pengujian PSA Sampel 22010 dan 22012

Sampel dengan variasi waktu alir gas nitrogen ditunjukkan oleh Gambar 4.8. Dari kurva tersebut dapat diamati bahwa semua variasi telah memiliki dua puncak. Pada sampel N0.5 dan N1, puncak pertama berada di bawah 100 nm dengan nilai berkisar antara 30-70 nm dengan intensitas yang cukup rendah yakni di bawah 10%. Sedangkan puncak kedua berada diatas 100 nm. Puncak kedua ini memiliki intensitas yang lebih tinggi dibandingkan puncak yang pertama. Pada sampel yang lain, yaitu N1.5, N5, dan N20, puncak kedua berada pada orde mikron dengan kisaran 3-6 μm . Berdasarkan hasil PSA ini, diketahui bahwa dengan semakin lama waktu alir gas nitrogen menyebabkan ukuran partikel yang semakin besar. Distribusi ukuran partikel yang berukuran semakin besar dapat diartikan luas permukaan dari bahan elektroda tersebut semakin kecil dan nilai kapasitansinya juga semakin kecil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.2. Hal ini mengindikasikan bahwa rGO belum tersayat secara sempurna, sehingga perlu dikembangkan cara lain supaya mampu meningkatkan luas permukaan elektroda.



Gambar 4.8 Hasil Pengujian PSA Sampel dengan Variasi Waktu Alir Gas Nitrogen

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- a. Bahan dasar dari arang tempurung kelapa tua menghasilkan fasa rGO dengan ukuran sekitar 200 nm dengan kandungan karbon sebesar 53,65% dan menghasilkan morfologi berupa lapisan-lapisan yang bertumpuk secara tidak teratur
- b. Pengaruh pemberian glukosa adalah mereduksi ukuran partikel dan meningkatkan nilai kapasitansinya sebesar 14,5%.
- c. Pengaruh penambahan nitrogen terhadap nilai kapasitansi menunjukkan bahwa semakin lama waktu alir gas nitrogen melalui metode *bubbling* maka nilai kapasitansi semakin kecil dan ukuran partikel semakin besar. Nilai kapasitansi tertinggi diperoleh pada variasi perbandingan rGO : HCl : Fe : Glu = 2:2:1:2 dengan waktu alir gas nitrogen 0,5 menit sebesar 21,67 F/g.

5.2 Saran

Setelah dilakukannya penelitian ini maka diperoleh beberapa hal yang perlu dilakukan sebagai pengembangan untuk penelitian selanjutnya, antara lain sebagai berikut :

- a. Diperlukan pengujian luas permukaan elektroda untuk mengetahui luasan secara spesifik dan pengujian *charge-discharge* untuk mengetahui kemampuan daur hidup dari elektroda
- b. Diperlukan pengujian FTIR dan SEM-EDX pada elektroda untuk memastikan terjadinya doping nitrogen pada rGO
- c. Diperlukan metode yang lebih efektif untuk membuat ketebalan rGO yang lebih tipis sehingga mampu meningkatkan luas permukaan elektroda

- d. Diperlukan pengujian kapasitansi menggunakan *nickel foam* agar massa elektroda yang diuji semakin kecil dan kuat sehingga membantu dalam menghasilkan nilai kapasitansi yang tinggi 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. <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2015.07.067>.
- Atkins, P., 2005. Physical Chemistry, 9th ed. Oxford University Press, England
- Bledzki, Andrzej K., Abdullah A. Mamun, and Jürgen Volk. 2010. "Barley Husk and Coconut Shell Reinforced Polypropylene Composites: The Effect of Fibre Physical, Chemical and Surface Properties." *Composites Science and Technology* 70 (5): 840–46. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2010.01.022>.
- Cai, M., Thorpe, D., Adamson, D.H., Schniepp, H.C., 2012. Methods of graphite exfoliation. *J. Mater. Chem.* 22, 24992. <https://doi.org/10.1039/c2jm34517j>
- Castro Neto, A.H., Guinea, F., Peres, N.M.R., Novoselov, K.S., Geim, A.K., 2009. The electronic properties of graphene. *Rev. Mod. Phys.* 81, 109–162. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.81.109>
- Chee, S.J., 2015. Green Reduction Of Graphene Oxide By Using Phytoextracts From Banana Peels (Phd Thesis). Universiti Malaysia Pahang.
- Cheng, J.-H., Chen, Y.-H., Yeh, Y.-S., Hy, S., Kuo, L.-Y., Hwang, B.-J., 2015. Enhancement of Electrochemical Properties by Freeze-dried Graphene Oxide via Glucose-assisted Reduction. *Electrochimica Acta*.
- Choi, Wonbong, Indranil Lahiri, Raghunandan Seelaboyina, and Yong Soo Kang. 2010. "Synthesis of Graphene and Its Applications: A Review." *Critical Reviews in Solid State*

- and Materials Sciences* 35 (1): 52–71.
<https://doi.org/10.1080/10408430903505036>.
- Clark, Jim. 2013. Bond Enthalpy (Bond Energy). Diakses pada <http://www.chemguide.co.uk/physical/energetics/bondenthalpies.html>
- Clery, D.S., Mason, P.E., Rayner, C.M., Jones, J.M., 2018. The effects of an additive on the release of potassium in biomass combustion. *Fuel* 214, 647–655.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.11.040>
- Conway, B.E. 1999. *Electrochemical Supercapacitors : Scientific Fundamentals and Technological Applications*. New York: Kluwer-Plenum.
- Deepan, P.G., Nisha, N.G., Karthigeyan, A., 2014. Synthesis and characterization of nitrogen-doped graphene sheets by hydrothermal reduction method. *Int J Chemtech Res* 7, 1553–1558.
- Du, Xusheng, Cuifeng Zhou, Hong-Yuan Liu, Yiu-Wing Mai, and Guoxiu Wang. 2013. “Facile Chemical Synthesis of Nitrogen-Doped Graphene Sheets and Their Electrochemical Capacitance.” *Journal of Power Sources* 241 (November): 460–66.
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.04.138>.
- 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.
- Geng, Dongsheng, Songlan Yang, Yong Zhang, Jinli Yang, Jian Liu, Ruying Li, Tsun-Kong Sham, Xueliang Sun, Siyu Ye, and Shanna Knights. 2011. “Nitrogen Doping Effects on the Structure of Graphene.” *Applied Surface Science* 257 (21): 9193–98.
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.05.131>.

- Ghasemi, Shahram, and Fatemeh Ahmadi. 2015. "Effect of Surfactant on the Electrochemical Performance of Graphene/Iron Oxide Electrode for Supercapacitor." *Journal of Power Sources* 289 (September): 129–37. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.04.159>.
- Ghosh, D., Biswas, R., 2002. Theoretical Calculation of Absolute Radii of Atoms and Ions. Part 1. The Atomic Radii. *Int. J. Mol. Sci.* 3, 87–113. <https://doi.org/10.3390/i3020087>
- Ghosh, Rajat Subhra. 2014. "Graphene Synthesis : Electro-Chemical Exfoliation." *Chemical Engineering*, National Institute of Technology – Trichy Tamil Nadu
- Gong, Y., Li, D., Fu, Q., & Pan, C. 2015. "Influence of graphene microstructures on electrochemical performance for supercapacitors". *Progress in Natural Science: Materials International*, 25(5), 379-385. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pnsc.2015.10.004>
- González, A., Goikolea, E., Barrena, J.A., Mysyk, R., 2016. Review on supercapacitors: Technologies and materials. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 58, 1189–1206. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.249>
- Halper, Marin S., and James C. Ellenbogen. 2006. "Supercapacitors: A Brief Overview." *The MITRE Corporation, McLean, Virginia, USA*, 1–34.
- Hao, Junnan, Dong Shu, Songtao Guo, Aimei Gao, Chun He, Yayun Zhong, Yuqing Liao, Yulan Huang, and Jie Zhong. 2016. "Preparation of Three-Dimensional Nitrogen-Doped Graphene Layers by Gas Foaming Method and Its Electrochemical Capacitive Behavior." *Electrochimica Acta* 193 (March): 293–301. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.02.048>.
- Hidayat, Safril Taufik. 2016. "Sintesis Komposit Sukrosa-rGO (Grafena Oksida Tereduksi) Variasi Komposisi Massa Untuk Bahan Elektroda Superkapasitor." Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA ITS

- Ke, Q., Tang, C., Liu, Y., Liu, H., Wang, J., 2014. Intercalating graphene with clusters of Fe_3O_4 nanocrystals for electrochemical supercapacitors. *Mater. Res. Express* 1, 025015. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/1/2/025015>
- Krane, Nils. 2011. "Preparation of Graphene." *Selected Topics in Physics: Physics of Nanoscale Carbon*.
- Kurniasari. 2017. "Analisis Cacat dan Sifat Magnetik Grafena Oksida Tereduksi dari Tempurung Kelapa." Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA ITS.
- Li, Lei, Peng Gao, Shili Gai, Fei He, Yujin Chen, Milin Zhang, and Piaoping Yang. 2016. "Ultra Small and Highly Dispersed Fe_3O_4 Nanoparticles Anchored on Reduced Graphene for Supercapacitor Application." *Electrochimica Acta* 190 (February): 566–73. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.12.137>.
- Li, Ynafei, Jie Yu, Shouhui Chen, Zhenzhong Huang, and Li Wang. 2017. " Fe_3O_4 /functional exfoliation graphene on carbon paper nanocomposites for supercapacitor electrode." *Ionics* (December) : 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11581-017-2409-y>
- Lin, X.-Q., Wang, W.-D., Lü, Q.-F., Jin, Y.-Q., Lin, Q., Liu, R., 2017. Nitrogen-doped graphene/carbon nanohorns composite as a high-performance supercapacitor electrode. *J. Mater. Sci. Technol.* 33, 1339–1345. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2017.06.006>
- 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. <https://doi.org/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.
<https://doi.org/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.
- Naderi, Hamid Reza, Parviz Norouzi, Mohammad Reza Ganjali, and Habib Gholipour-Ranjbar. 2016. “Synthesis of a Novel Magnetite/Nitrogen-Doped Reduced Graphene Oxide Nanocomposite as High Performance Supercapacitor.” *Powder Technology* 302 (November): 298–308. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.08.054>.
- Namisnyk, Adam Marcus. 2003. “A Survey of Electrochemical Supercapacitor Technology.” University of Technology, Sydney Faculty of Engineering.
- Nasrullah, M. 2014. “Analisis Fasa Dan Lebar Celah Pita Energi Karbon Pada Hasil Pemanasan Tempurung Kelapa.” Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA ITS.
- Nugraha, I Md Ananta., 2015. "Karakterisasi Grafena Oksida Tereduksi(RGO) Dari Tempurung Kelapa Tua Sebagai Material Penyerap Gelombang Mikro." 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. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.827.285>.
- Park, S., An, J., Potts, J.R., Velamakanni, A., Murali, S., Ruoff, R.S., 2011. Hydrazine-reduction of graphite- and graphene oxide. *Carbon* 49, 3019–3023. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2011.02.071>
- Parvez, Khaled. 2014. “Chemical exfoliation of graphene and its application in organic electronics and energy storage devices.” Fachbereich Chemie, Pharmazie, und

Geowissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität
Mainz

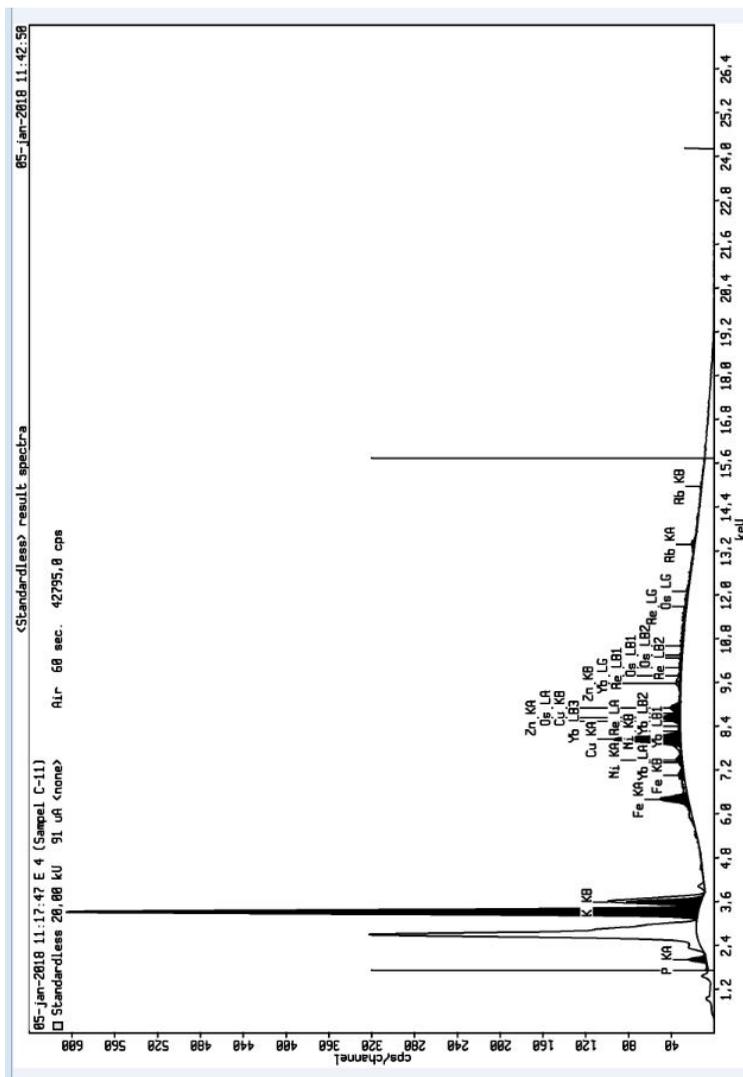
- Pei, Songfeng, and Hui-Ming Cheng. 2012. "The Reduction of Graphene Oxide." *Carbon* 50 (9): 3210–28. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2011.11.010>.
- Petricca, Luca, Per Ohlckers, and Xuyuan Che. 2013. "The Future of Energy Storage Systems." In *Energy Storage - Technologies and Applications*, edited by Ahmed Zobaa. InTech. <https://doi.org/10.5772/52413>.
- Pradana, Herdy Yudha. 2017. "Sintesis RGO/Glukosa Dengan Variasi Perbandingan Massa Dan Proses Eksfoliasi Secara Kimia Untuk Bahan Elektroda Superkapasitor." Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA ITS.
- Prades, A., Dornier, M., Diop, N., Pain, J.-P., 2012. Coconut water uses, composition and properties: a review. *Fruits* 67, 87–107. <https://doi.org/10.1051/fruits/2012002>
- Prasetya, Fandi Angga, Muhammad Nasrullah, Ananda Yogi Nugraheni, and Darminto. 2015. "Study of Raman Spectroscopy on Graphene Phase from Heat Treatment of Coconut (*Cocos Nucifera*) Shell." *Materials Science Forum* 827 (August): 290–93. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.827.290>.
- Priyarsono, D. S., Mangara Tambunan, and Muhammad Firdaus. 2012. "Perkembangan Konsumsi Dan Penyediaan Energi Dalam Perekonomian Indonesia." *IJAE (Jurnal Ilmu Ekonomi Pertanian Indonesia)* 2 (01).
- Putra, Gilang Baswara Anggara. 2017. "Sintesis Elektroda Superkapasitor Dengan Proses Eksfoliasi Kimia Dan Pengaitan Fe³⁺ Pada Grafena Oksida Tereduksi Dari Tempurung Kelapa Tua." Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA ITS.
- Rampe, Meytij Jeanne. 2015. "Konversi Arang Tempurung Kelapa Menjadi Elektroda Karbon." *Chemistry Progress* 8 (2).

- Rani, B., Jindal, V.K., Dharamvir, K., 2013. Interaction of two nitrogen molecules with graphene. pp. 363–364. <https://doi.org/10.1063/1.4810251>
- Safitri, D.A., Susanti, D., Nurdiansah, H., 2017. Analisis Pengaruh Doping Nitrogen Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Berbahan Graphene. *J. Tek. ITS* 6, 90–95.
- Sarkar, S.K., Raul, K.K., Pradhan, S.S., Basu, S., Nayak, A., 2014. Magnetik properties of graphite oxide and reduced graphene oxide. *Phys. E Low-Dimens. Syst. Nanostructures* 64, 78–82. doi:10.1016/j.physe.2014.07.014
- 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
- Shinde, S.M., Kano, E., Kalita, G., Takeguchi, M., Hashimoto, A., Tanemura, M., 2016. Grain structures of nitrogen-doped graphene synthesized by solid source-based chemical vapor deposition. *Carbon* 96, 448–453. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2015.09.086>
- Sutrisno, Tri. 2016. Pembuatan Briket Arang dari Tempurung Kelapa dengan Perlakuan Penambahan Solar dan Kanji pada Konsentrasi yang Berbeda. Purwokerto : Universitas Muhammadiyah Purwokerto
- Wachid, Frischa M., Adhi Y. Perkasa, Fandi A. Prasetya, Nurul Rosyidah, and Darminto. 2014. “Synthesis and Characterization of Nanocrystalline Graphite from Coconut Shell with Heating Process.” In , 202–6. <https://doi.org/10.1063/1.4866759>.
- 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
- Wang, Guoping, Lei Zhang, and Jiujuan Zhang. 2012. “A review of electrode materials for electrochemical supercapacitors”. *Chem. Soc. Rev* (41) : 797–828. doi:10.1039/c1cs15060j

- Wang, Xuewan, Gengzhi Sun, Parimal Routh, Dong-Hwan Kim, Wei Huang, and Peng Chen. 2014. "Heteroatom-Doped Graphene Materials: Syntheses, Properties and Applications." *Chem. Soc. Rev.* 43 (20): 7067–98. <https://doi.org/10.1039/C4CS00141A>.
- Wei, Pua Shah. 2016. Natural Rubber/Reduced Graphene Oxide (RGO) Composite Development (PhD Thesis). Faculty of Engineering and Green Technology, Universiti Tunku Abdul Rahman
- Yadav, Roshni, and C.K. Dixit. 2017. "Synthesis, Characterization and Prospective Applications of Nitrogen-Doped Graphene: A Short Review." *Journal of Science: Advanced Materials and Devices* 2 (2): 141–49. <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2017.05.007>.

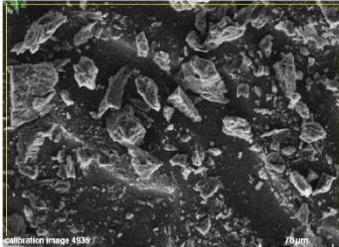
LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Spektrum XRF

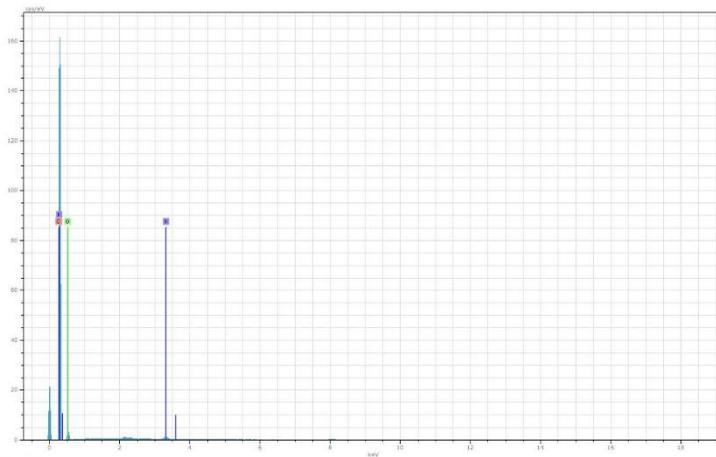


Lampiran 2. Hasil Uji SEM-EDX

Karbon Batok Kelapa



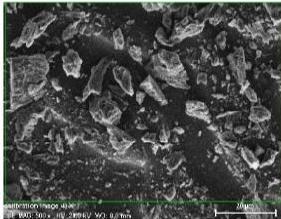
calibration image 4936
 Si WFO 500 x HV 20kV WD 0.9 mm
 calibration image 4935 Date 9/22/2017 3:42:26 PM Image size: 512 x 384 Mag: 499.99997x HV: 20.0kV



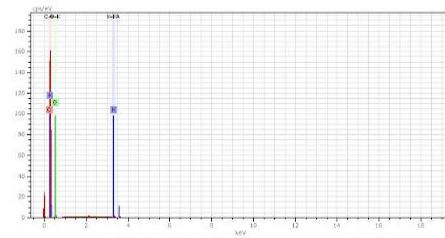
3 181 Date:9/22/2017 3:43:23 PM HV:20.0kV Puls th.:10.66kcp/s

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

Karbon Batok Kelapa

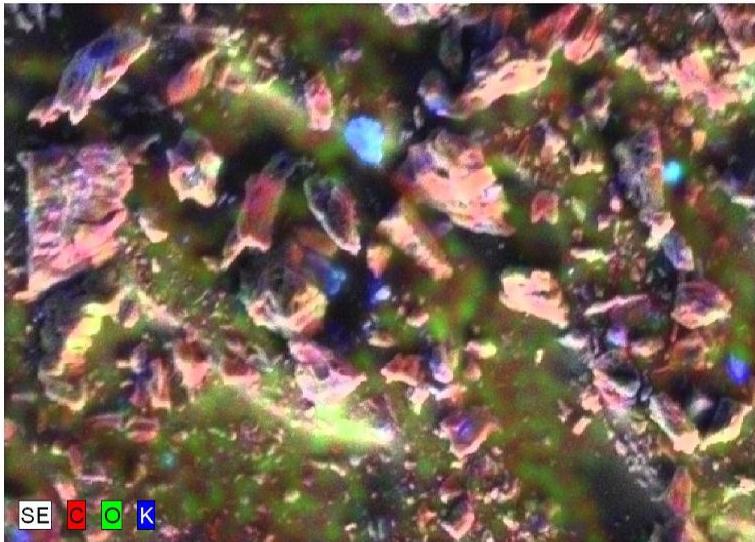


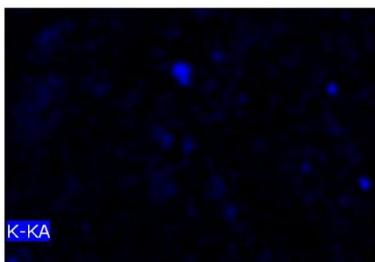
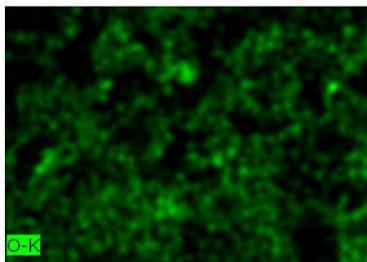
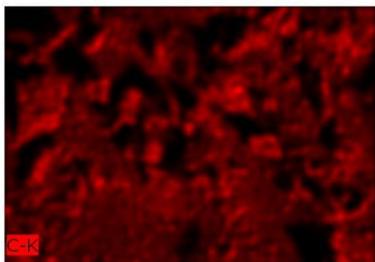
calibration image 4936 Date: 9/22/2017 3:42:26
 PMImage size: 512 x
 384 Mag: 499.99997x HV: 20.0kV



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

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





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

BIODATA



Penulis bernama Irma Septi Ardiani, dapat dipanggil Irma. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang lahir di Blitar, 29 September 1996. Ayah penulis bernama Suyadi, ibu penulis bernama Martik Sriwahyuni, dan adik penulis bernama Leni Desti Permatasari. Saat ini tinggal di Desa Garum RT 02 RW 03, Kecamatan Garum, Kabupaten Blitar, Jawa Timur. Penulis telah

menempuh pendidikan formal di TK Al-Mu'minin Tangerang, SDN Cikupa 2 Tangerang, SMPN 2 Nglegok, dan SMAN 1 Garum. Pada tahun 2014, penulis menempuh perkuliahan di Departemen Fisika FIA ITS dengan bidang minat Fisika Material. Selama perkuliahan penulis mengikuti beberapa organisasi, yaitu Kopma Dr. Angka ITS pada periode 2015/2016 sebagai Staf LSA Broadcast, BIMITS periode 2015/2016, Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA) sebagai staf Research and Technology (RnT) periode 2015/2016 dan Sekretaris Departemen Riset & Teknologi periode 2016/2017, serta Trainer Keilmiah ITS periode 2017/2018. Penulis pernah bergabung dalam beberapa kepanitiaan, yaitu Bina Desa Jilid III, Bidikmisi Goes To School, 5th Physics Summit, dan Training For Trainer (TFT) 2018. Aktifitas lainnya adalah sebagai Asisten Dosen untuk mata kuliah Fisika Dasar I dan Wawasan Teknologi & Komunikasi Ilmiah (WTKI) serta Asisten Laboratorium Fisika Madya. Penulis juga berpengalaman magang atau Kerja Praktek di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Serpong dalam bidang biomaterial.

Penulis aktif mengikuti beberapa Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional dan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM). Prestasi yang pernah diraih antara lain Finalis LKTIN HIMA PKK UPI 2016, Finalis Call For Paper ARBIVENT UNAIR 2017, Finalis LKTIN ISRF UPI 2018, Juara 1 LKTIN Pekan Raya Biologi UNRI 2018, Juara Harapan III LKTIN IDEA UNJ 2018, serta PKM-PE Terdanai tahun 2017 dan 2018. Penulis berharap penelitian Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dapat dikembangkan lebih lanjut. Kritik dan saran dapat dikirim ke irmasepti99@gmail.com.

