



**TUGAS AKHIR - TL 184834**

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN GREEN  
REDUCTOR ALUMINIUM PADA PROSES SINTESIS  
REDUCED GRAPHENE OXIDE (rGO) TERHADAP SIFAT  
KAPASITIF SUPERKAPASITOR**

**PUTRO BAKTI UTOMO  
NRP. 0251154000064**

**Dosen Pembimbing  
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.  
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL 184834**

**ANALYSIS THE EFFECT OF ADDITION OF ALUMINUM AS  
GREEN REDUCTOR ON THE REDUCED GRAPHENE OXIDE  
(rGO) SYNTHESIS PROCESS TOWARD CAPACITIVE  
PROPERTIES OF SUPERCAPACITOR**

**PUTRO BAKTI UTOMO  
NRP. 0251154000064**

**Advisors**

**Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.  
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institut of Technology  
Surabaya 2019**

*(This page left intentionally blank)*

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN GREEN  
REDUCTOR ALUMINIUM PADA PROSES SINTESIS  
REDUCED GRAPHENE OXIDE (rGO) TERHADAP SIFAT  
KAPASITIF SUPERKAPASITOR**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Material Inovatif  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**PUTRO BAKTI UTOMO**

NRP 02511540000064

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing I)
2. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. (Pembimbing II)



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN GREEN REDUCTOR ALUMINIUM PADA PROSES SINTESIS REDUCED GRAPHENE OXIDE (rGO) TERHADAP SIFAT KAPASITIF SUPERKAPASITOR**

**Nama Mahasiswa : Putro Bakti Utomo**  
**NRP : 02511540000064**  
**Departemen : Teknik Material**  
**Dosen Pembimbing I : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.**  
**Dosen Pembimbing II : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.**

## **Abstrak**

*Dewasa ini dunia telah memasuki revolusi industri 4.0. Pesatnya perkembangan teknologi tersebut berdampak pada peningkatan aktivitas manusia akan kebutuhan dan penggunaan energi khususnya energi listrik sebagai kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari. Reduced Graphene Oxide (rGO) diperkenalkan sebagai material pengganti grafena karena memiliki luas spesifik permukaan yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensintesis serta mengetahui pengaruh variasi massa aluminium terhadap sifat kapasitansi pada material reduced graphene oxide. Variasi massa agen pereduksi aluminium yang digunakan 0,25 gram, 0,5 gram dan 0,75 gram. Pada penelitian ini GO disintesis menggunakan metode Hummer dan direduksi menggunakan Al secara kimia. Material hasil proses sintesis dilakukan karakterisasi menggunakan pengujian XRD, FTIR, SEM, dan EDX. Untuk performa superkapasitor, dilakukan pengujian CV, Galvanostat charge-discharge, dan EIS. Nilai kapasitansi dari yang tertinggi berturut-turut adalah saat penambahan massa 0,75 gram Al (170,21 F/g), 0,5 gram Al (149,065 F/g) dan 0,25 gram Al (117,5 F/g).*

***Kata Kunci : Superkapasitor, EDLC, Reduced Graphene Oxide, Aluminium, Sifat Kapasitif***

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **ANALYSIS THE EFFECT OF ADDITION OF ALUMINUM AS GREEN REDUCTOR ON THE REDUCED GRAPHENE OXIDE (rGO) SYNTHESIS PROCESS TOWARD CAPACITIVE PROPERTIES OF SUPERCAPACITOR**

**Student Name** : Putro Bakti Utomo  
**NRP** : 0251154000064  
**Departement** : Materials Engineering  
**Advisor** : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.  
**Co-Advisor** : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

## **Abstract**

*Today, the world has entered the 4.0 Industrial Revolution. The rapid development of technology has an impact on increment of human activity in energy used. Reduced Graphene Oxide (rGO) has become an interested thing to discuss in the field of nano-material and its introduced as the substitute material of graphene because it has high specific surface area. The purposes of this research are to synthesize and to determine the effect of aluminum mass variations on the capacitance properties of reduced graphene oxide as electrode material. The mass variations of the aluminium as reducing agent that used in this research are 0.25 grams, 0.5 grams and 0.75 grams. In this research, GO was synthesized by Hummer method and was reduced by aluminum powder. These synthesized materials have been characterized by XRD, FTIR, SEM and EDX. For supercapacitor's performas are measured by CV testing, Galvanostat charge-discharge testing and EIS testing. The capacitance values from the highest to the lowest consecutively are the addition of 0.75 grams of Al (170, 21 F/g), 0.5 grams of Al (149,065 F/g) and 0.25 grams of Al (117, 5 F/g).*

**Keywords:** *Supercapacitor, EDLC, Reduced Graphene Oxide, Ferrous, Capacitive Properties.*

*(This page left intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Pengaruh Penambahan Green Reductor Aluminium pada Proses Sintesis Reduced Graphene Oxide (rGO) terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor**” yang menjadi salah satu syarat kelulusan Sarjana Teknik (S.T.) Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bimbingan kepada penulis sehingga Tugas Akhir dapat terselesaikan, diantaranya:

1. Ibu Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir
2. Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir
3. Bapak Dr. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T selaku dosen wali penulis
4. Dr. Agung Purniawan, S.T. M.Eng., selaku kepala Departemen Teknik Material – FTI ITS

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat selalu bermanfaat bagi semua.

Surabaya, 2 Juli 2019  
Penulis,

Putro Bakti Utomo  
0251154000064

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Nanomaterial.....	7
2.2 <i>Graphene</i> .....	8
2.3 Karakterisasi <i>Graphene</i> .....	12
2.4 Metode Sintesis <i>Graphene</i> .....	14
2.5 Superkapasitor.....	19
2.6 <i>Electrochemical Double Layer Capacitors (EDLC)</i> ...	21
2.7 Superkapasitor <i>Graphene</i> .....	24
2.8 Reduktor Aluminium.....	26
2.9 Sifat Kapasitif Material.....	29
2.10 Penelitian Sebelumnya.....	32
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>33</b>
3.1 Bahan.....	33
3.2 Alat Penelitian.....	33
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	36
3.4 Jadwal Kegiatan.....	52
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>54</b>
4.1 Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	55
4.2 Hasil Pengujian <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i> ..	59

4.3	Hasil Pengujian <i>Scanning Elektron Microscopy</i> .....	63
4.4	Hasil Pengujian <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> .....	69
4.5	Hasil Pengujian <i>Cycle Voltammetry (CV)</i> .....	71
4.6	Hasil Pengujian <i>Charge-Discharge</i> .....	76
4.7	Hasil Pengujian EIS .....	79
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>87</b>
5.1	Kesimpulan .....	87
5.2	Saran .....	87
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>89</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>95</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>		<b>111</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>		<b>113</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Ilustrasi Metode Preparatif Nanopartikel .....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Beberapa Polimorf Karbon .....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Struktur dari (a) <i>Graphene</i> , (b) GO, (c) rGO .....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Pola XRD Grafit, Grafit Oksida dan Grafena .....	12
<b>Gambar 2.5</b>	Hasil SEM dari (a) Permukaan GO dan (b) rGO ..	13
<b>Gambar 2.6</b>	Hasil FTIR dari Grafit, GO, dan rGO .....	14
<b>Gambar 2.7</b>	Metode <i>Bottom-Up</i> .....	15
<b>Gambar 2.8</b>	Metode <i>Top-Down</i> .....	17
<b>Gambar 2.9</b>	Sketsa <i>Plot Ragone</i> untuk Beberapa Alat Penyimpanan dan Pengkonversi Energi .....	20
<b>Gambar 2.10</b>	Skema Superkapasitor EDLC. ....	22
<b>Gambar 2.11</b>	Mekanisme <i>Charging-Discharging</i> EDLC .....	23
<b>Gambar 2.12</b>	Tipe Kurva CV dari Berbagai Superkapasitor .....	25
<b>Gambar 2.13</b>	(a-d) Reduksi Menggunakan Al, (e) Hasil TEM dari GO (f) Hasil SEM dari Partikel GO/Aluminium (e) rGO yang Dikompres Berdiameter 15 mm.....	27
<b>Gambar 2.14</b>	Reaksi Aluminium pada Sintesis <i>Graphene</i> .....	29
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Sintesis Grafit Oksida.....	36
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram Alir Sintesis <i>Reduced Graphene Oxide</i> .....	39
<b>Gambar 3.3</b>	Diagram Alir Pembuatan Elektroda .....	41
<b>Gambar 3.4</b>	Alat Uji FTIR.....	45
<b>Gambar 3.5</b>	Alat Uji <i>Cyclic Voltammetry</i> .....	47
<b>Gambar 3.6</b>	SEM Inspect S50.....	48
<b>Gambar 3.7</b>	Instrumen XRD PANalytical .....	50
<b>Gambar 3.8</b>	Skema Hasil Uji <i>Charge-Discharge</i> .....	52
<b>Gambar 4.1</b>	Perbandingan XRD Grafit dan Grafit Oksida .....	55
<b>Gambar 4.2</b>	Perbandingan Hasil XRD pada rGO. ....	57
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil Uji FTIR Grafit dan Grafit Oksida .....	60
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil Uji FTIR rGO .....	62

<b>Gambar 4.5</b>	Hasil SEM dari Grafit (A) dan Grafit Oksida (B).	64
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil SEM dari <i>Reduced Graphene Oxide</i> .....	65
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil SEM dari <i>Nickel Foam</i> . .....	66
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil SEM dari <i>Nickel Foam-rGO</i> .....	68
<b>Gambar 4.9</b>	Perbandingan Hasil Uji CV Elektroda rGO .....	72
<b>Gambar 4.10</b>	Pengaruh <i>Scan Rate</i> terhadap Nilai Kapasitansi Elektroda Uji .....	75
<b>Gambar 4.11</b>	Hubungan <i>Specific Energy</i> dan <i>Specific Power</i> ...	75
<b>Gambar 4.12</b>	Plot <i>Ragone</i> Hasil Variasi Massa Reduktor Aluminium .....	76
<b>Gambar 4.13</b>	Kurva <i>Charge Discharge</i> pada Elektroda rGO ....	77
<b>Gambar 4.14</b>	Hubungan Antara Kapasitansi dengan (a) <i>Charge</i> dan (b) <i>Discharge</i> .....	79
<b>Gambar 4.15</b>	Bentuk <i>Plot Nyquist</i> pada rGO.....	80
<b>Gambar 4.16</b>	<i>Plot Bode</i> $ Z $ pada rGO. ....	81
<b>Gambar 4.17</b>	<i>Plot Bode</i> [C] pada rGO.....	82
<b>Gambar 4.18</b>	<i>Equivalent Circuit</i> pada <i>Fitting</i> Hasil EIS .....	84

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Pengelempokkan Superkapasitor.....	21
<b>Tabel 2.2</b>	Perbandingan Nilai Kapasitansi dari Superkapasitor <i>Graphene</i> .....	32
<b>Tabel 3.1</b>	Pengujian Material.....	43
<b>Tabel 3.3</b>	Jadwal Kegiatan.....	53
<b>Tabel 4.1</b>	Perhitungan Jarak Antar Layer Grafit, Grafit Oksida, dan <i>Reduced Graphene Oxide</i> .....	59
<b>Tabel 4.2</b>	Jenis Gugus Ikatan pada Sampel GO.....	61
<b>Tabel 4.3</b>	Komposisi Unsur Penyusun Grafit Oksida.....	69
<b>Tabel 4.4</b>	Komposisi Unsur Penyusun rGO dengan Massa Aluminium 0,25 gram .....	69
<b>Tabel 4.5</b>	Komposisi Unsur Penyusun rGO dengan Massa Aluminium 0,5 gram .....	70
<b>Tabel 4.6</b>	Komposisi Unsur Penyusun rGO dengan Massa Aluminium 0,75 gram .....	70
<b>Tabel 4.7</b>	Hasil Pengujian CV Elektroda <i>Nickel Foam-rGO</i> ....	73
<b>Tabel 4.8</b>	Hasil <i>Charge-Discharge</i> Elektroda .....	78
<b>Tabel 4.9</b>	Hasil Pengujian EIS .....	83
<b>Tabel 4.10</b>	Nilai Resistansi Hasil <i>Fitting Equivalent Circuit</i> .....	85

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dewasa ini dunia telah memasuki revolusi industri 4.0, ditandai dengan era serba digital dan virtual berbentuk konektivitas dan interaksi antara manusia dan mesin yang semakin konvergen melalui teknologi informasi dan komunikasi. Indonesia sebagai negara berkembang menduduki peringkat ke-45 dari 140 negara untuk indeks daya saing global 4.0 berdasarkan *Global Competitiveness Report 2018*. Untuk menyongsong hal tersebut maka Kementerian Perindustrian telah menyusun peta jalan “*Making Indonesia 4.0*” yang memiliki lima sektor pengembangan salah satunya adalah bidang elektronika yang akan menjadi percontohan dalam penerapan revolusi industri 4.0 di Tanah Air. Dalam Bidang elektronika di Indonesia, pemerintah sedang berusaha untuk meningkatkan kegiatan penelitian dan pengembangan serta penguatan desain dalam upaya menciptakan inovasi teknologi dan produk di tengah era digital yang berkembang karena industri elektronik Indonesia masih bergantung pada impor dari negara lain. Adapun produksi lokal masih terkonsentrasi pada perakitan sederhana dan belum banyak terlibat dalam proses yang bernilai tambah.

Pesatnya perkembangan teknologi tersebut berdampak pada peningkatan aktivitas manusia akan kebutuhan dan penggunaan energi khususnya energi listrik sebagai kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik menyatakan bahwa konsumsi listrik per kapita pada tahun 2012 hingga 2016 sebesar 0,79 MWH/Kapita, 0,84 MWH/Kapita, 0,88 MWH/Kapita, 0,91 MWH/Kapita, 0,95 MWH/Kapita hal ini menunjukkan adanya peningkatan tiap tahunnya. Sedangkan berdasarkan data Kementerian ESDM konsumsi listrik per kapita mencapai 994,41 kWh hingga September 2017. Angka ini naik 3,98% dari posisi akhir 2016 sebesar 956,36 kWh. Ditambah lagi adanya program pengembangan mobil listrik membuat kebutuhan

---

*stroom* masyarakat kedepan akan meningkat. Adapun kapasitas terpasang pembangkit listrik hingga September 2017 mencapai 60 Giga Watt (GW). Jumlah tersebut telah naik 7 GW dari akhir 2014 yang baru mencapai 53 GW. Hal ini menuntut adanya perkembangan teknologi dalam piranti penyimpanan energi. Namun tanpa disadari, sebagian masyarakat Indonesia hanya mengenal baterai dan kapasitor sebagai piranti penyimpanan energi.

Berbagai macam peralatan yang digunakan dalam aktivitas sehari-hari telah menggunakan baterai sebagai sumber energi sehingga berdampak pada peningkatan konsumsi baterai dan bertambahnya jumlah limbah baterai. Komponen-komponen penyusun baterai merupakan unsur kimia yang dapat mencemari lingkungan. Maka dari itu, berdasarkan Surat Keputusan Menteri Perindustrian No. 148/MISK/1985, batu baterai kering dapat digolongkan ke dalam kategori Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Di sisi lain, baterai memerlukan waktu *charging* yang cukup lama walaupun memiliki rapat energi yang cukup besar dan mengalami *voltage drop*. Sedangkan kapasitor memiliki waktu *charging* yang sangat cepat namun rapat energinya kecil sehingga memiliki kapasitansi yang lebih kecil. Karena meningkatnya permintaan yang pesat untuk perangkat konversi dan piranti penyimpanan energi, maka dari itu perlu adanya terobosan baru yang jauh lebih menarik daripada piranti penyimpanan energi di masa lalu. Dalam hal ini, terobosan baru sebagai piranti penyimpanan energi yang menjanjikan adalah superkapasitor.

Superkapasitor atau ultrakapasitor adalah piranti penyimpanan energi pengembangan dari kapasitor konvensional yang memiliki reversibilitas yang baik, pengisian dan pengosongan yang cepat, kepadatan daya tinggi, umur pakai yang lebih panjang serta stabilitas siklus yang lebih stabil dengan piranti penyimpanan energi elektrokimia analog. Dalam proses manufaktur elektrodanya, superkapasitor dibagi menjadi *electrochemical double layer supercapacitor* (EDLC), pseudokapasitor, dan *hybrid*. Pseudokapasitor pada umumnya menggunakan bahan oksida

---

logam serta polimer. Sedangkan EDLC menggunakan bahan dasar polimorfi karbon seperti grafena. EDLC memiliki daur hidup yang lebih lama daripada pseudokapasitor. Sedangkan hybrid merupakan gabungan keduanya (Zheng dkk, 2017).

Material *Reduced Graphene Oxide* (rGO) telah menjadi pembahasan yang menarik di bidang nano material dan diperkenalkan sebagai material pengganti grafena karena memiliki luas permukaan yang sangat tinggi dan direkomendasikan sebagai bahan elektroda dalam pembuatan superkapasitor, *fuel cells*, dan *solar cells* (Zhu dkk, 2010). *Reduced graphene oxide* (rGO) adalah bentuk *graphite oxide* yang diproses dengan metode kimia, termal, dan lainnya untuk mengurangi kandungan oksigen. Sifat-sifat yang dimiliki *reduced graphene oxide* mendukung untuk dijadikan bahan dalam pembuatan superkapasitor karena diteliti sebagai pendekatan yang efisien dalam sifat yang sama dengan grafena. Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode kimia yaitu metode Hummer yang diperkenalkan pada tahun 1958 karena mampu menghasilkan *graphene oxide* yang lebih banyak, ekonomis, dan peralatan yang relatif lebih sederhana (Yu dkk, 2016). Namun, secara umum zat pereduksi kimia yang digunakan pada umumnya dilakukan dengan menggunakan reduktor kuat termasuk *hidrazine* (Stankovich dkk, 2007), *hydroquinone* (Wang dkk, 2008), dan  $\text{NaBH}_4$  (Si dan Samulski, 2008). Beberapa zat tersebut termasuk kedalam kategori zat berbahaya dan beracun serta hanya menghilangkan sebagian beberapa gugus oksigen yang terkandung dalam *reduced graphene oxide*. Pada 2012 Dongyun Wan dkk membuat suatu terobosan menggunakan pereduksi yang ramah lingkungan yaitu Aluminium (Al) dengan temperatur 100-200 °C di dalam *two-zone vacuum furnace*. Sifat-sifat yang ditingkatkan ini dikaitkan dengan kandungan oksigen yang rendah dalam rGO. Secara keseluruhan, reduksi menggunakan Al merupakan metode yang efektif untuk menghasilkan rGO terkait untuk aplikasi perangkat konversi dan penyimpanan energi yang fleksibel. rGO yang dihasilkan memiliki konduktivitas listrik hingga 38100 S/m. Oleh sebab itu, mengetahui potensi aluminium

(Al) sebagai zat pereduksi pada sintesis *reduced graphene oxide* yang ramah lingkungan maka penelitian ini dilakukan sintesis *reduced graphene oxide* menggunakan reduktor aluminium (Al) dengan metode Hummer.

## 1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang terdapat dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi massa reduktor aluminium (Al) terhadap struktur dan morfologi material *reduced graphene oxide* (rGO) sebagai elektroda superkapasitor?
2. Bagaimana pengaruh variasi massa aluminium (Al) terhadap sifat kapasitif material *reduced graphene oxide* (rGO) sebagai elektroda superkapasitor?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar diperoleh hasil akhir yang baik dan sesuai yang diinginkan serta tidak menyimpang dari masalah yang telah dirumuskan, maka terdapat beberapa batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kecepatan *stirring* dianggap konstan
2. Temperatur dan tekanan pada udara sekitar dianggap konstan
3. Ukuran grafit dianggap seragam
4. Impuritis pada serbuk grafit dan bahan kimia diabaikan
5. pH Aquades dianggap netral
6. Luas Permukaan *nickel foam* dianggap sama
7. Fluktuasi *temperature furnace* diabaikan

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Menganalisa pengaruh variasi massa reduktor Aluminium (Al) terhadap struktur dan morfologi material *reduced graphene oxide* (rGO) sebagai elektroda superkapasitor.

2. Menganalisa pengaruh variasi massa reduktor Aluminium (Al) terhadap sifat kapasitif material *reduced graphene oxide* (rGO) sebagai elektroda superkapasitor.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini memiliki manfaat untuk menghasilkan material *reduced graphene oxide* (rGO) hasil reduksi dengan Aluminium (Al) yang memiliki sifat kapasitif yang baik untuk aplikasi elektroda superkapasitor serta dapat digunakan untuk rujukan terhadap penelitian-penelitian selanjutnya dalam pengembangan material berbahan *reduced graphene oxide* (rGO) sebagai piranti penyimpanan energi.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

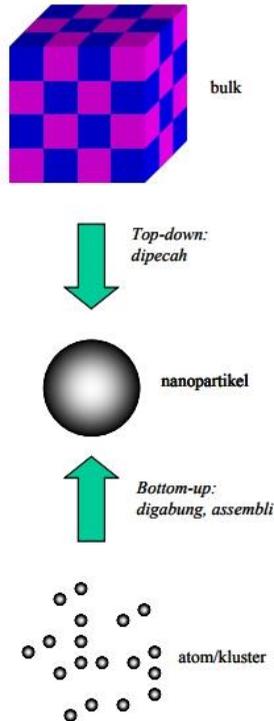
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Nanomaterial**

Nanomaterial merupakan landasan nanosains dan nanoteknologi. Bahan berskala nano didefinisikan sebagai seperangkat substansi dimana setidaknya satu dimensi berukuran kurang dari 100 nanometer (nm). Nanometer adalah seperjuta milimeter atau sekitar 100.000 kali lebih kecil dari diameter rambut manusia. Nanopartikel memiliki beberapa sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dibandingkan dengan material berukuran besar (bulk). Sifat fisika dari nanopartikel yang antara lain sifat magnet, listrik, optik, mekanik dan termal menarik untuk dipelajari dan diteliti untuk kemudian dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti rekayasa material, elektronik, magnetik, dan biomedis (Alagarasi dkk, 2011).

Terdapat dua pendekatan utama yang digunakan dalam pembuatan nanoteknologi, yaitu *bottom-up* dan *top-down*. Metode *top-down* merupakan proses sintesis nanopartikel secara fisika, dimana terjadi pemecahan material besar menjadi material berukuran nanometer. Metode ini dapat juga diartikan penggabungan material berukuran sangat kecil, seperti kluster, menjadi partikel berukuran nanometer tanpa mengubah sifat bahan. Dalam pendekatan *bottom-up*, terjadi proses sintesis nanopartikel secara kimia dengan melibatkan reaksi kimia dari sejumlah material awal (*precursor*) sehingga dihasilkan material lain yang berukuran nanometer (Mikrajuddin, 2008), yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1.



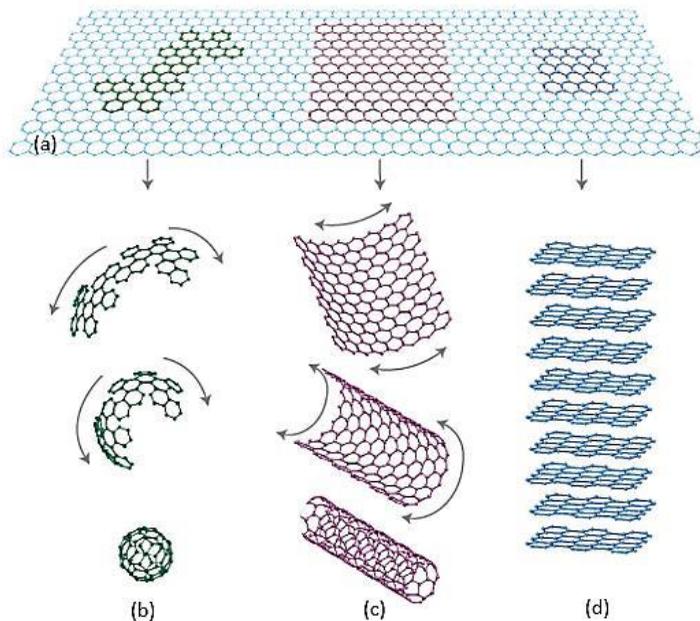
**Gambar 2.1** Ilustrasi Metode Preparatif Nanopartikel  
(Mikrajuddin dkk, 2008)

Menurut Rao dan Cheetam pada tahun 2006, yang termasuk dalam nanomaterial diantaranya adalah DNA, *ceramic oxides*, *Carbon Nano Tube* (CNT), dan selapis karbon yang ditemukan pada tahun 2004 oleh Geim dan Novoselov yang disebut *Graphene*.

## 2.2 *Graphene*

*Graphene* merupakan salah satu polimorfi dari karbon yang berbentuk datar dan 2 dimensi (2D) dengan kisi segi enam. Grafena dapat dikatakan sebagai dasar dari berbagai polimorf karbon

lainnya seperti *fullerenes* 0D dengan melipatnya seperti Gambar 2.2(b), *nanotubes* 1D dengan menggulungnya seperti pada Gambar 2.2(c), dan grafit 3D dengan menumpuknya seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.2(d).

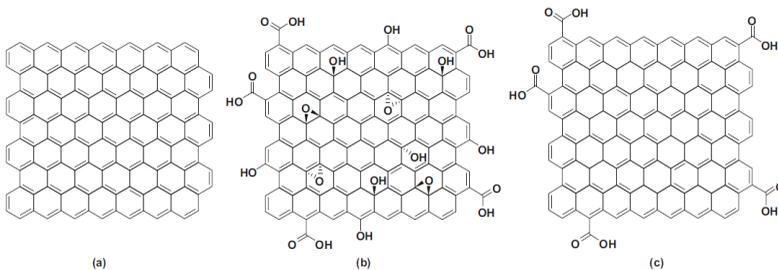


**Gambar 2.2** Beberapa Polimorf Karbon (a) *Graphene*, (b) *Fullerenes*, (c) *Nanotubes*, dan (d) Grafit (Geim dan Novoselov, 2015)

*Graphene* adalah material karbon dengan satu lapisan yang memiliki bentuk kisi heksagonal (*honeycomb*), dengan jarak antar karbon sekitar 1.42 Å. Ini adalah kristal dua dimensi pertama yang ada dan merupakan representasi dari keseluruhan material dengan kisi kristal dua dimensi, struktur dua dimensi ini muncul akibat mengalami hibridasi  $sp^2$ . Sehingga *graphene* memiliki sifat mobilitas pembawa muatan yang tinggi yaitu  $15.000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$

pada suhu 300K (Novoselov, 2004). Dalam kaitannya dengan efek medan, mobilitas elektron *graphene* yang didapatkan dari pemodelan mencapai  $80.000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  (Neto dkk, 2009). Bersifat konduktor listrik dan konduktor panas. Graphene memiliki konduktivitas listrik sebesar  $0,96 \times 10^6 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  dan konduktivitas termal yang tinggi yaitu 5000 W/mK (Oktiana, 2016).

Terdapat 3 buah turunan dari grafena, yaitu grafit, GO, dan rGO. Grafit merupakan material dasar karbon yang bersifat amorf dan bertumpuk serta kaya akan karbon dan oksigen. GO merupakan hasil oksidasi grafit yang menambah jumlah oksigen dan beberapa ikatan *Van der Walls* telah terlepas. Sehingga ketebalan dari sampel telah berkurang. Sedangkan rGO merupakan hasil reduksi oksigen dari GO, sehingga terdapat ikatan yang kosong akan oksigen. Visualisasi struktur *graphene*, GO, dan rGO dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Struktur dari (a) *Graphene*, (b) GO, (c) rGO  
(Shim dkk, 2016)

### 2.2.1 *Graphene Oxide*

*Graphene Oxide* merupakan hasil oksidasi grafit yang menambah jumlah oksigen dan beberapa ikatan *Van der Walls* telah terlepas. Sehingga ketebalan dari sampel telah berkurang. *Graphene oxide* (GO) merupakan senyawa turunan *graphene* yang memiliki karakteristik serupa dengan *graphene* yang memiliki struktur yang mirip pula. Bedanya pada *graphene* struktur yang terbentuk adalah planar, sedangkan pada GO terdapat lengkungan

karena hadirnya gugus oksigen dalam bentuk karboksil dan karbonil di dalamnya.

GO memiliki sifat mekanik, ketahanan termal dan elektrik yang baik. GO memiliki nilai konduktivitas listrik sebesar  $10^4$  S/cm (Gao,2009). Kurva dispersi energi GO tidak memiliki energi gap, dan kedua pitanya tidak saling berimpit. Disekitar energi Fermi, kurva dispersinya berbentuk linier. Bentuk pita demikian membuat GO bersifat semimetal dan sangat konduktif.(Haris dkk, 2016). GO juga memiliki sifat optik yang unik yang bersifat transparan hingga 98%. Sifat transparan dan konduktif ini membuat GO berpotensi digunakan sebagai pengganti elektroda transparan *Indium Tin Oxide* (ITO) untuk membuat display optik yang lebih baik dan murah seperti LCD dan LED (Hogan, 2008). Lapisan GO memiliki ketebalan sekitar  $1.1 \pm 0.2$  nm. *Scanning tunneling microscopy* (STM) menunjukkan bahwa bentuk oksigen yang terikat di dalamnya adalah berpola segi empat dengan konstanta kisi 27 nm x 0.41 nm (Chhowalla dkk, 2009) dan ujung-ujungnya diakhiri dengan gugus karboksil dan karbonil (Schniepp dkk, 2006).

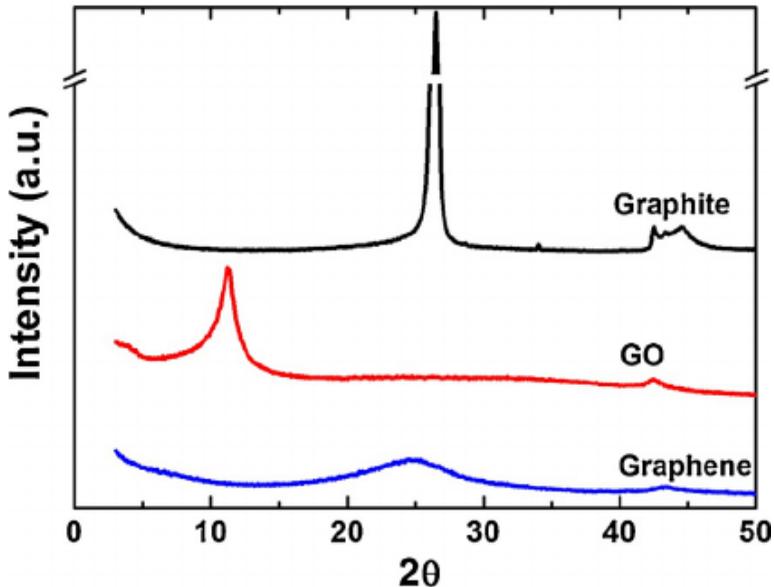
### **2.2.2 Reduced Graphene Oxide (rGO)**

*Reduced Graphene Oxide* (rGO) adalah produk dari *graphene oxide* oleh reduksi kimia atau termal. *Reduced Graphene Oxide* dianggap sebagai struktur antara antara *graphene* yang ideal dan GO yang sangat teroksidasi (Reina,2017). Pada umumnya rGO akan diberikan perlakuan mekanik atau kimiawi agar didapatkan hasil rGO yang memiliki lapisan lebih tipis. Perlakuan mekanik dan kimiawi ini digunakan untuk menyayat ikatan *Van der Waals* antar tumbukan dari rGO agar tersisa hanya beberapa lapis bahkan selapis. Metode paling sederhana yaitu dengan melakukan pemanasan suhu rendah dengan dibantu pengadukan selama 48 jam. Suhu yang digunakan berkisar antara 60°C hingga 150°C. Hal ini menghasilkan rGO dengan kapasitas hingga 160 F/g. rGO yang telah dipanasi kemudian dilakukan pencucian berulang kali (Hong and Chung, 2015).

## 2.3 Karakterisasi *Graphene*

### 2.3.1 Pengujian *X-Ray Diffraction (XRD)*

Pada pengujian XRD dapat menunjukkan peak yang berbeda antara grafit, grafit oksida dan *graphene* yang ditunjukkan oleh Gambar 2.4.

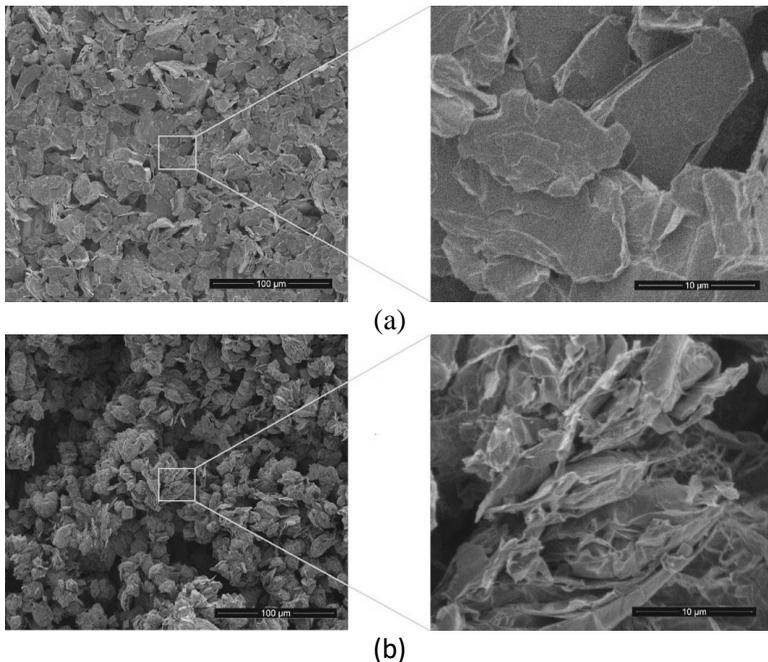


**Gambar 2.4** Pola XRD Grafit, Grafit Oksida dan Grafena  
(Jee Wook Lee dkk, 2014)

Puncak difraksi grafit yang diamati pada daerah  $2\theta = 26.4^\circ$ , sedangkan pola XRD untuk GO menunjukkan puncak yang kuat dan tajam pada daerah  $2\theta = 10.56^\circ$ . Kemudian pola difraksi grafena ditunjukkan pada daerah  $2\theta = 25.11^\circ$ . Jarak *interlayer* yang diperoleh untuk grafit, GO dan *graphene* adalah 3,36 Å, 8,37 Å, 3,54 Å.

### 2.3.2 Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

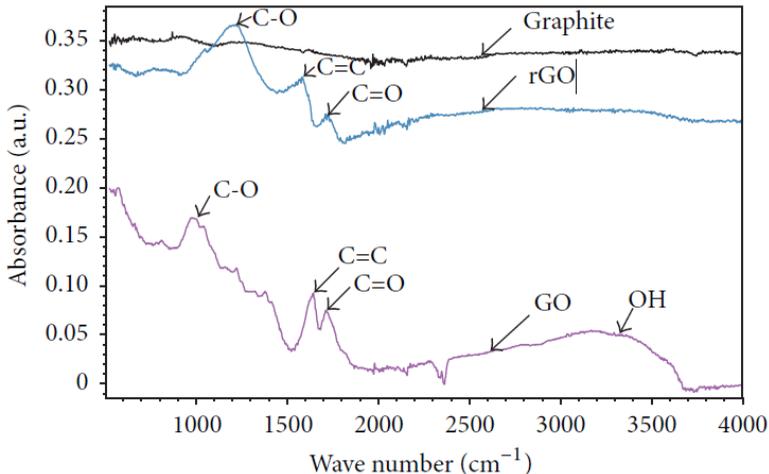
SEM dari GO dan rGO menunjukkan ukuran butiran dari rGO lebih homogen, rata-rata sekitar 10 hingga 20  $\mu\text{m}$ . Permukaan rGO secara signifikan membentuk struktur berpori namun, dapat diperhatikan bahwa permukaan butiran grafit oksida relatif lebih halus dibandingkan dengan permukaan butiran rGO. Terkadang juga nampak adanya *wrinkle* atau *folding* yang terjadi pada permukaan rGO seperti terlihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Hasil SEM dari (a) Permukaan GO dan (b) Permukaan rGO (Sabina Elżbieta DREWNIAK dkk, 2015)

### 2.3.3 Pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Pengujian FTIR pada grafena menunjukkan terjadinya penghilangan gugus fungsional OH yang sangat signifikan. Hal inilah yang sangat membedakan antara pola FTIR GO dan rGO yang ditunjukkan oleh Gambar 2.6.

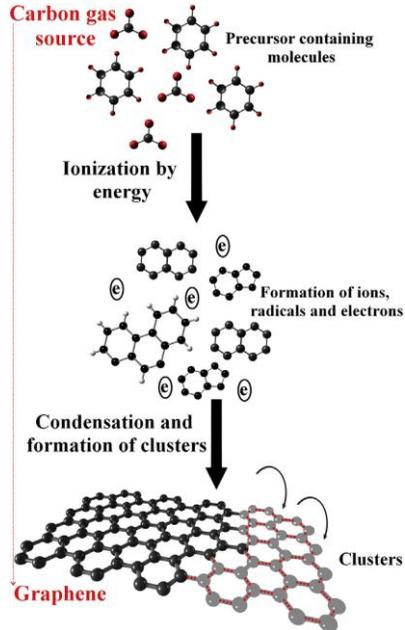


**Gambar 2.6** Hasil FTIR dari Grafit, GO, dan rGO  
(Strankowski dkk, 2016)

## 2.4 Metode Sintesis *Graphene*

### 2.4.1 Metode *Bottom-up*

Dalam proses ini, lembaran *graphene* dapat disintesis dengan berbagai metode seperti deposisi uap kimia (CVD), pertumbuhan epitaxial pada SiC, dan sintesis organik. Metode *bottom-up* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Metode *Bottom-Up* (Marya Raji dkk, 2018)

a. *Chemical Vapor Deposition (CVD)*

Pada tahun 2008 CVD telah muncul sebagai rute untuk pembuatan *graphene* karena kelayakan produksi yang berkualitas tinggi. CVD lebih banyak digunakan dalam pembuatan *graphene* tipe-n seperti metode *scotch tape*. Hal ini dilakukan pada substrat logam di dalam tungku pada suhu tinggi (1000°C dengan adanya katalis). Kemudian pada permukaan substrat logam transisi seperti Ni, Cu, Co, Pd, Ir, Au dan Ru akan diekspos ke salah satu hidrokarbon yang berbeda seperti metana, etilen, asetilen dan benzena. Tungku dengan cepat didinginkan untuk mencegah pengendapan lapisan karbon dari agregat menjadi sejumlah besar grafit melalui adsorpsi kimia dan untuk menjaga karbon yang terdeposisi, yang nantinya akan mengkristal menjadi lapisan *graphene* pada permukaan logam. Metode ini memiliki keunggulan

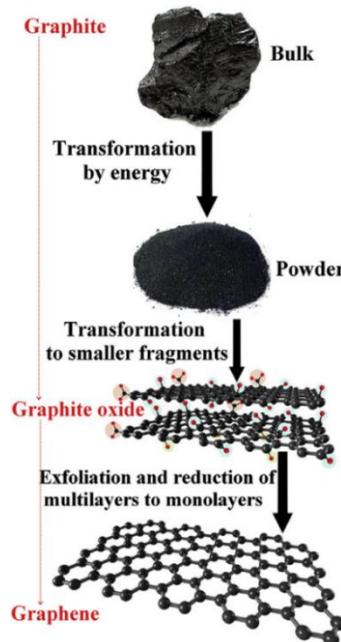
bahwa grafena dapat ditumbuhkan dengan luas dan jumlah lapisan yang dihasilkan adalah tunggal atau sedikit.

#### *b. Epitaxial Growth*

Pertumbuhan epitaksial biasanya mengacu pada pertumbuhan film kristal tunggal pada isolasi elektrik atau substrat logam yang memiliki kisi yang cocok dengan *graphene*. Ada dua proses pertumbuhan epitaxial utama tergantung pada substrat: pertumbuhan homoepitaxial dan heteroepitaxial (Zhang,2012). Jika film yang didepositkan dan substratnya dari bahan yang sama, itu dikenal sebagai lapisan homoepitaxial namun ketika film dan substrat berbeda, itu dinamakan lapisan heteroepitaxial. Kedua proses dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kategori: (1) dekomposisi termal pada kristal tunggal silikon karbida (SiC), (2) pemecahan gas hidrokarbon pada substrat karbida lain (TiC, TaC, WC, dll.) atau substrat logam (Ni, Pt) (Yu,2011), dan (3) pemisahan atom karbon dari bulk (Ru (001)) Dalam metode ini, substrat logam dipoles sampai rata lalu dipanaskan dalam vakum tingkat ultra (Ultra High Vacuum,  $10^{-10}$  torr) sehingga atom-atom logam menyublim. Atom-atom karbon yang tertinggal di permukaan membentuk grafena.

#### **2.4.2 Metode *Top-down***

Dalam proses *top-down*, *graphene* diproduksi dalam jumlah besar melalui pemisahan atau pengelupasan grafit atau turunan grafit seperti grafit fluorida (Kim,2010). Metode *top-down* ditunjukkan oleh Gambar 2.8.



**Gambar 2.8** Metode *Top-Down* (Marya Raji dkk, 2018)

Berikut merupakan beberapa cara sintesis *top-down*:

a. *Mechanical Cleavage*

*Graphene* pertama kali dikupas secara mekanis dari grafit pada tahun 2004. Proses ini telah terbukti mengekstrak beberapa lapisan *graphene flakes* dengan mobilitas pembawa yang mencapai  $\sim 10.000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  pada suhu kamar. Kelompok Manchester yang dipimpin oleh Andre Geim adalah yang pertama menemukan bahwa *graphene* adalah nanopartikel terkuat yang dipreparasi dengan mudah melalui metode *Scotch-tape*. Untuk pembelahan mekanis, diperlukan gaya eksternal  $300 \text{ nN}/\text{Im}^2$  untuk memisahkan satu lapisan monoatomik dari penumpukan lembaran dalam grafit oleh gaya van der waals yang lemah. Proses ini paling banyak

---

digunakan karena dapat memberikan lapisan *graphene* yang murni tanpa modifikasi kimia atau kontaminasi pada permukaan.

*b. Chemical method*

Pengelupasan secara kimia dari grafit adalah salah satu prosedur untuk preparasi dan memisahkan grafit menjadi grafena oksida dalam skala yang besar. Pengelupasan kimia umumnya dilakukan dengan dua tahap proses. Proses pertama adalah mengurangi gaya van der Waals dan membentuk ruang untuk preparasi senyawa yang akan diselipkan pada *graphene*. Langkah kedua yaitu pengelupasan *graphene* menjadi satu lapisan atau beberapa lapisan dengan pemanasan cepat atau sonikasi. Ini dapat diperoleh dengan berbagai cara yang didasarkan pada modifikasi kimia dari grafit diikuti oleh pemisahan, dan yang lain didasarkan pada interkalasi molekul kecil secara langsung di antara lapisan (metode Brodie, Staudenmaier, Hofmann, dan metode Hummers). Semua metode melibatkan oksidasi grafit yang menghasilkan pembentukan gugus hidrofilik di permukaan, umumnya menggunakan kombinasi zat pengoksidasi kuat, termasuk asam sulfat pekat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), kalium klorat ( $\text{KClO}_3$ ), asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ), dan kalium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ). Reduksi *graphene oxide* dengan menghilangkan gugus oksigennya adalah salah satu prosedur yang sangat baik untuk sintesis sejumlah besar *graphene*.

*c. Electrolytic Exfoliation*

Pengelupasan elektrokimia dari berbagai prekursor karbon menjadi satu atau beberapa tumpukan lembaran seperti *graphene* telah terbukti sebagai pendekatan untuk menghasilkan oksida grafena baik kualitas tinggi untuk aplikasi yang praktis. Mekanisme pengelupasan kulit elektrokimia didasarkan pada penggunaan salah satu alotrop karbon graphitic yang terdiri dari batang grafit, kertas karbon, atau pirolitik grafit yang berorientasi tinggi sebagai elektroda dan beberapa larutan seperti cairan ionik dan *polu natrium-4-styrenesulfonate*. Mekanisme pengelupasan elektrokimia meliputi:

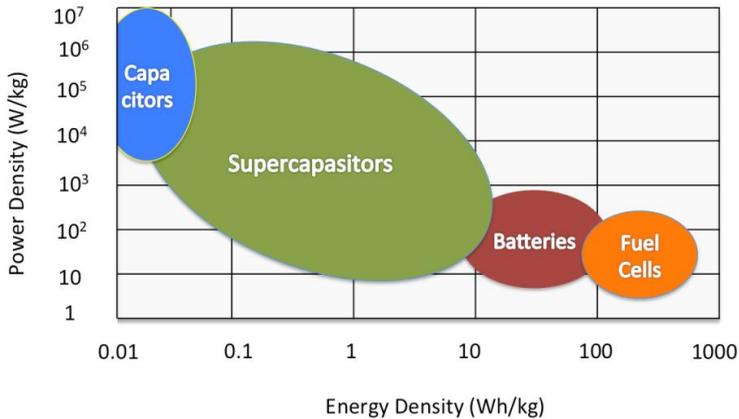
1. Oksidasi anodik dari air
2. Hidroksilasi atau oksidasi bidang tepi grafit

3. Interkalasi oleh cairan ionik anion antara lapisan grafit yang membentuk senyawa interkalasi
4. Pembelahan oksidatif dan pengendapan senyawa grafit interkalasi

## 2.5 Superkapasitor

Superkapasitor merupakan salah satu jenis perangkat penyimpan energi elektrokimia yang memiliki densitas energi yang lebih tinggi daripada baterai dan *fuel cells* serta densitas daya yang lebih tinggi daripada kapasitor konvensional seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Superkapasitor dibangun dengan prinsip dasar yang sama dengan kapasitor konvensional. Hal yang berbeda adalah penggabungan kedua elektroda dengan luasan permukaan (A) yang jauh lebih tinggi dan dielektrik yang sangat tipis untuk menurunkan jarak diantara kedua elektroda tersebut, sehingga akan meningkatkan kapasitansi. Produk superkapasitor komersial memiliki energi spesifik di bawah  $10 \text{ W j}^{-1}$ , lebih rendah dari baterai  $35\text{-}40 \text{ W j}^{-1}$ , untuk baterai timbal-asam, namun untuk baterai lithium ion bisa mencapai  $150 \text{ W j}^{-1}$  (Vasile dan Obreja, 2008).

Superkapasitor menempati wilayah antara kapasitor konvensional dan baterai. Superkapasitor dapat memberikan setidaknya 1000 kali lebih banyak energi daripada kapasitor dielektrik dan 10 kali lebih banyak daya dari baterai. Selain itu, superkapasitor memiliki siklus hidup yang lama yaitu lebih dari 500.000 siklus (Huo, 2018).



**Gambar 2.9** Sketsa Plot Ragone untuk Beberapa Alat Penyimpanan dan Pengkonversi Energi (Brodd,2004)

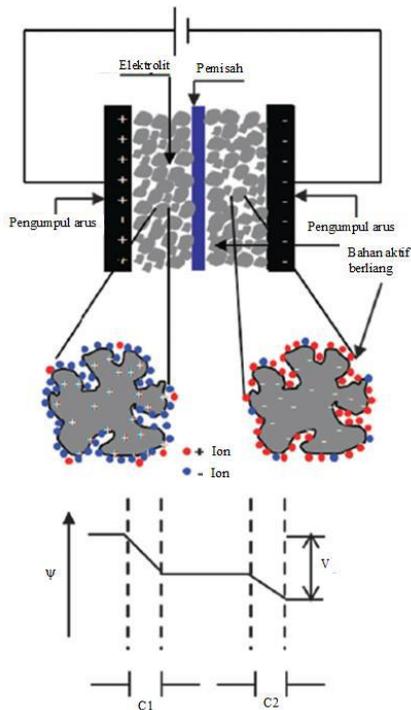
Terdapat 3 pengelompokan dari superkapasitor. Yang pertama adalah superkapasitor yang dibentuk menggunakan karbon dikenal sebagai *electrochemical double layer capacitors* (EDLC). Superkapasitor ini memiliki mekanisme penyimpanan secara *non-faradaic*. Selanjutnya adalah superkapasitor berdasarkan reaksi redoks (*faradaic*) atau disebut dengan pseudokapasitor, dimana elektrodanya terbuat dari *conductive polymer*. Selanjutnya, yang ketiga adalah *hybrid capacitor* yang memiliki mekanisme kerja kombinasi antara EDLC dan pseudokapasitor. Nilai energi yang dapat disimpan oleh superkapasitor ditentukan oleh beberapa faktor, misalnya oleh nilai kapasitansi spesifik bahan elektroda. Berikut adalah perbandingan dari ketiganya yang ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Pengelempokkan Superkapasitor (Libich, 2018)

Sifat	Jenis Superkapasitor		
	EDLC	Pseudo	<i>Hybrid</i>
<i>Charge time (s)</i>	1-10	1-10	100
<i>Cycle life</i>	1000000	100000	500000
<i>Cell voltage (V)</i>	2.7	2.3-2.8	2.3-2.8
<i>Specific energy (Wh.kg<sup>-1</sup>)</i>	3-5	10	180
<i>Cost per kWh (USD)</i>	~10000	~10000	Belum diketahui
<i>Operating temperature (°C)</i>	-40 hingga 65	-40 hingga 65	-40 hingga 65
<i>Self discharge per month (%)</i>	60	60	Belum diketahui
<i>Type of electrolyte</i>	Aprotik atau Protik	Protik	Aprotik

## 2.6 *Electrochemical Double Layer Capacitors (EDLC)*

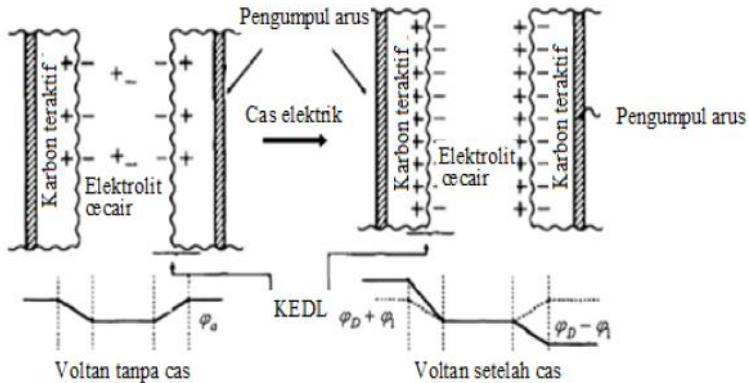
Superkapasitor EDLC adalah kategori superkapasitor yang sangat maju dikembangkan. Karbon dalam berbagai bentuk, secara intensif dievaluasi secara terus menerus dan banyak digunakan sebagai bahan elektroda di EDLC yang pengembangannya lebih terfokus pada pencapaian luas permukaan yang lebih tinggi dengan daya tahan rendah. Kapasitor EDLC dibuat dari elektroda berbasis karbon, elektrolit, dan separator.



**Gambar 2.10** Skema Superkapasitor EDLC  
(Zhang dan Zhao, 2009)

Seperti halnya kapasitor konvensional, EDLC menyimpan muatan secara elektrostatis, atau non-Faradaic, dan tidak ada transfer muatan antara elektroda dan elektrolit. Superkapasitor menyimpan energi dengan cara membentuk lapisan ganda listrik pada antarmuka elektroda dan elektrolit. Muatan listrik diakumulasikan pada permukaan elektroda serta muatan ion yang berlawanan disusun di sisi elektrolit. Gambar 2.11 menunjukkan proses *charge* (pengisian) dalam pembentukan lapisan ganda listrik dan *discharge* (pengosongan). Pada proses pengisian, elektron bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif dan dalam elektrolit, kation bergerak menuju elektroda negatif sementara

anion bergerak menuju elektroda positif. Selama pengosongan proses sebaliknya terjadi. Dalam kapasitor elektrokimia tidak ada transfer muatan di antarmuka elektroda/elektrolit dan tidak ada pertukaran ion yang terjadi antara elektroda dan elektrolit. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi elektrolit tetap konstan selama proses pengisian dan pengosongan. Dengan cara ini, energi disimpan dalam antarmuka lapisan ganda (Wang dkk, 2012).



**Gambar 2.11** Mekanisme *Charging-Discharging* EDLC  
(Sharma dan Bhatti, 2010)

Nilai kapasitansi yang diperkirakan dapat diperoleh dari model lapisan ganda yang diusulkan oleh Helmholtz pada tahun 1853 dimana lapisan ganda terdiri dari dua lapisan tunggal. Satu lapisan dibentuk pada elektroda yang diisi dan yang lainnya mengandung ion dalam elektrolit. Kapasitas untuk lapisan ganda diberikan dengan Persamaan 2.1, Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.3.

$$\frac{C}{A} = \frac{\epsilon}{4\pi\delta} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana C adalah kapasitansi, A adalah luas permukaan elektroda,  $\epsilon$  adalah konstanta dielektrik elektrolit,  $\delta$  adalah jarak lapisan

ganda. Adapun persamaan lain untuk menentukan kerapatan daya (P) serta energi (E) yang disimpan di dalam superkapasitor, yaitu:

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \dots\dots\dots(2.2)$$

$$P = \frac{V^2}{4Rs} \dots\dots\dots(2.3)$$

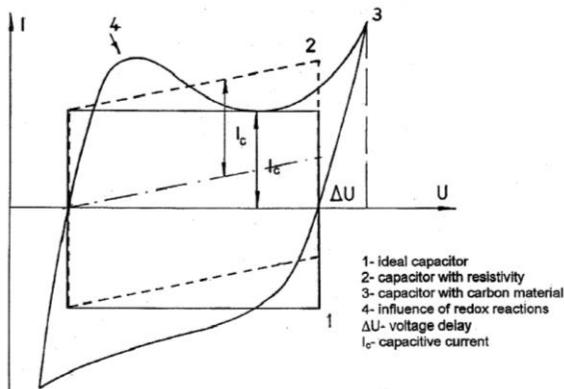
## 2.7 Superkapasitor *Graphene*

Sejauh ini, unsur yang paling umum digunakan untuk superkapasitor adalah karbon. Karbon merupakan material penyusun dari semua material organik serta memiliki berbagai polimorf, namun di alam hanya ditemukan 2 polimorf yaitu grafit dan berlian. Ketika karbon grafit diproses untuk memperoleh sifat yang lebih baik seperti porositas tinggi, biasanya disebut karbon aktif. Porositas yang tinggi diinginkan karena secara implisit berarti akan membentuk luas permukaan yang tinggi untuk pembentukan EDLC (lebih banyak bidang kontak antara ion elektrolit dan plat). Hampir semua super kapasitor komersial menggunakan elektroda yang didasarkan pada bahan karbon aktif karena biayanya yang relatif rendah. Dalam dekade terakhir, banyak upaya telah dilakukan untuk menggunakan bentuk karbon lain yang lebih maju untuk pengembangan elektroda superkapasitor. Secara khusus, karbon *nanotube* telah menjadi perhatian yang utama. Karbon *nanotube* sangat mirip dengan bahan *graphene* namun memiliki bentuk seperti sedotan, harus dipotong satu sisi dan diratakan, hasilnya kemudian disebut lembaran *graphene* atau *carbon nanosheet*.

*Graphene* hanyalah satu lapisan grafit. Namun, satu lembar grafit memiliki sifat yang sangat berbeda dari grafit banyak-lapisan. Selain itu, bilayer dan trilayer *graphene* juga memiliki sifat masing-masing yang unik. Konduktivitas listrik dan termal, kekuatan, dan luas permukaan semuanya berbeda antara *graphene* dan graphite. Dalam banyak kasus, sifat-sifat *graphene* lebih diinginkan. Dalam praktiknya, konduktivitas selembur *graphene* telah diukur hingga 649 S/cm (Wang,2010). Nilai ini mirip dengan

grafit, tetapi jauh di bawah konduktivitas tembaga, yang berada di urutan  $10^5$  S/cm. Sifat paling penting dari graphene sehubungan dengan superkapasitor adalah, secara alami, luas permukaan spesifik teoretis yang tinggi dari  $2675 \text{ m}^2/\text{g}$  dan kapasitansi spesifik teoritis yang sesuai yaitu  $550 \text{ F/g}$  (Liu, 2010).

Berbagai tipe superkapasitor dapat dilihat dari jenis kurva *cyclic voltammogram (CV)* nya. Gambar 2.12 menunjukkan berbagai tipe kurva CV dari berbagai jenis superkapasitor. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa superkapasitor mempunyai beberapa tipe. Yang pertama adalah superkapasitor ideal (warna hijau). Superkapasitor ideal menunjukkan pola *charging* *discharging* yang sama, sehingga mempunyai bentuk yang *rectangular*, atau persegi, yang menandakan bahwa *charging* *discharging* berlangsung dalam waktu yang sama.



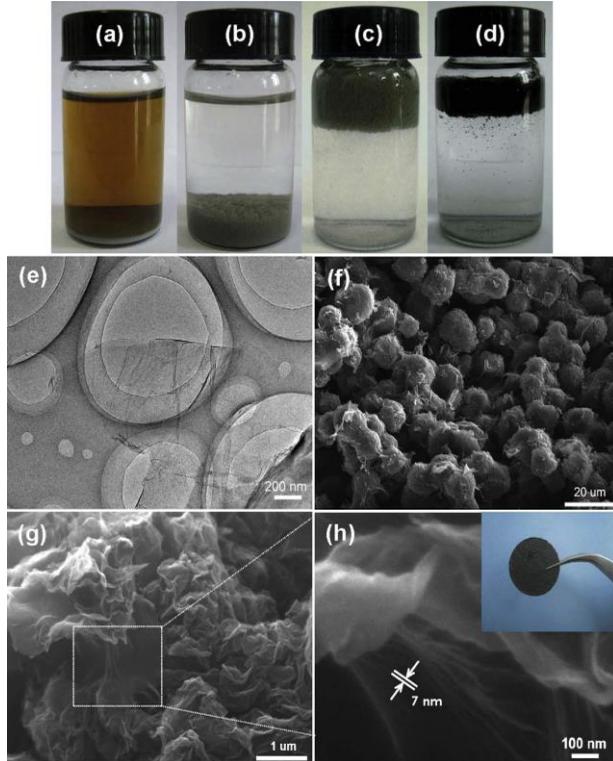
**Gambar 2.12** Tipe Kurva CV dari Berbagai Jenis Superkapasitor (Elzbieta Frackowiak, 2001)

Yang kedua adalah jenis kapasitor resistif (nomor 2). Kapasitor jenis ini ditandai oleh bentuk kurva CV yang *rectangular*, namun miring keatas, yang menandakan adanya peningkatan *current density* seiring dengan pertambahan nilai voltase. Yang terakhir adalah jenis *pseudocapacitor* (nomor 4). Ciri khas dari jenis kapasitor ini adalah adanya *hump* (gundukan),

yang menandakan terjadinya reaksi, baik oksidasi maupun reduksi. *Pseudocapacitor* biasanya mempunyai kapasitansi yang lebih tinggi, karena adanya efek reaksi redoks yang terjadi.

## 2.8 Reduktor Aluminium

Senyawa-senyawa yang memiliki kemampuan untuk mereduksi senyawa lain dikatakan sebagai reduktif dan dikenal sebagai reduktor atau agen reduksi. Reduktor melepaskan elektronnya ke senyawa lain, sehingga ia sendiri teroksidasi. Reduksi kimia *graphene oxide* (GO), dianggap sebagai pendekatan yang efisien untuk menghasilkan lembaran graphene yang dapat diproses dalam skala besar, meskipun mekanisme yang terlibat masih belum jelas (Muller,2008). Agen pereduksi yang banyak digunakan akhir-akhir ini adalah hidrogen sulfida, hidrazin, natrium borohidrida, dimetilhidrazin, dan hidrokuinon untuk mereduksi GO menjadi *graphene*. Namun, zat pereduksi yang digunakan sangat berbahaya serta atom oksigen yang tersisa pada graphene dan gugus fungsi tambahan selama reduksi kimia akan menghasilkan peningkatan resistensi lembaran karena hamburan elektron dan memakan waktu dari 2 jam hingga 24 jam serta proses yang cukup rumit. Maka dari itu, Zhuangjun Fan,dkk (2010) melaporkan rute yang ramah lingkungan dan efisien untuk mereduksi GO menggunakan bubuk aluminium dalam kondisi asam yang hanya berlangsung selama 30 menit. Kemurnian produk tinggi yang dihasilkan berlawanan dengan metode reduksi yang menggunakan hidrazin atau sulfonat yang harus memasukkan zat pengotor ke dalam rGO. Akibatnya konduktivitas lembaran rGO adalah  $2,1 \times 10^3$  S/m, lebih rendah dari grafit murni sebesar  $3,2 \times 10^4$  S/m. Proses reduksi oleh Al ditunjukkan oleh gambar berikut:



**Gambar 2.13** (a-d) Reduksi Menggunakan Al, (e) Hasil TEM dari GO (f) Hasil SEM dari Partikel GO/Aluminium (e) rGO yang Dikompres Berdiameter 15 mm (Zhuangjun Fan dkk, 2010).

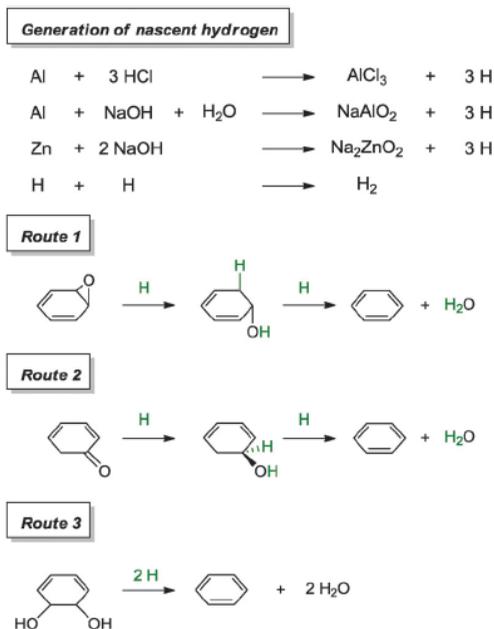
Pada awalnya bubuk Al ditambahkan ke dalam larutan GO yang mengandung HCl, dan warna larutan masih coklat (Gambar 2.13 (a)). Kemudian Al bereaksi dengan  $H^+$  untuk menghasilkan  $Al^{3+}$ , yang akan diserap pada permukaan partikel Aluminium. Akibatnya, banyak GO (Gambar 2.13(e)) dengan muatan ( $\sim 37mV$ , diperoleh oleh Zetasizer 2000, *Malvern Instruments*) diserap pada permukaan partikel aluminium positif untuk membentuk struktur bola (Gambar 2.13(f)), dan larutan

berwarna coklat beruba menjadi tidak berwarna (2b). Kontak aluminium dengan GO menghasilkan reduksi GO yang disertai dengan melepaskan panas hasil reaksi ( $80^{\circ}\text{C}$ ) sehingga sejumlah besar gelembung hidrogen yang dihasilkan oleh reaksi reduktif ini meningkatkan endapan ke atas larutan (Gambar 2.13(c)). Dalam waktu sekitar 30 menit, GO direduksi menjadi graphene dan warnanya berubah menjadi hitam (Gambar 2.13(d)). dapat diamati bahwa sebagian besar lembaran *graphene* teragregasi menjadi serpihan yang lebih tebal dengan distribusi ukuran yang luas, mulai dari 7 hingga 30 nm (Gambar 2.13 (g) dan (h)).

Serbuk aluminium sebagai agen pereduksi berdasarkan potensi reduksi standar yang tinggi yaitu 1,68 V dibandingkan dengan 1,24 V untuk natrium borohydride dan -1.16 V untuk hidrazin (Dean,1999) Untuk lebih memahami mekanisme reaksi ini, hanya bubuk aluminium yang ditambahkan ke dalam larutan GO tanpa HCl selama 2 hari, namun, tidak ada reduksi GO yang diamati serta larutan masih berwarna coklat. Karena produksi hidrogen diamati selama proses reduksi GO, sehingga menimbulkan pertanyaan apakah benar bahwa GO direduksi oleh hidrogen bukan oleh bubuk aluminium. Untuk membuatnya lebih jelas, aliran hidrogen dimasukkan ke dalam larutan GO pada  $100^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam, namun larutan GO masih berwarna coklat. Hal ini menunjukkan bahwa reduksi GO berasal dari aluminium disertai penambahan HCl. Diketahui bahwa biasanya terdapat lapisan pasif  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada permukaan aluminium untuk mencegah oksidasi lebih lanjut, tetapi penambahan HCl tidak hanya dapat menghancurkan lapisan pasif namun juga meningkatkan potensi reduksi  $\text{Al} / \text{Al}^{3+}$ . Selain itu, reaksi redoks jugah mudah terjadi karena kontak yang kuat antara GO dan partikel aluminium yang tertarik secara elektrostatik yang dapat mendorong proses transfer elektron (Gambar 2.13(f)) (Zhuangjun Fan dkk, 2010). Seperti dibahas di atas, reduksi aluminium dapat menghilangkan lebih banyak gugus yang mengandung oksigen dengan rasio O/C yang lebih rendah dan tetap menjadi struktur karbon  $\text{sp}^2$  yang sempurna dengan cacat

lebih sedikit daripada menggunakan reduksi termal. (Dongyun, 2012).

Berdasarkan Chua dan Pumera (2013), reaksi reduksi oleh Aluminium pada sintesis graphene ditunjukkan pada Gambar 2.14.



**Gambar 2.14** Reaksi Aluminium pada Reaksi Sintesis *Graphene* (Chua dan Pumera dkk, 2013).

## 2.9 Sifat Kapasitif Material

Material memiliki beberapa jenis sifat yang dapat dimanfaatkan seperti sifat elektronik, magnetik, mekanik, termal, dan optik. Dalam hal sifat elektroniknya, material memiliki sifat elektronik masing-masing yang dipengaruhi oleh jenis bahan dari material tersebut. Secara elektronik, material diklasifikasikan menjadi 3 umum tipe yaitu konduktor, semikonduktor, dan isolator. Perbedaan ketiga tipe material ini terdapat pada

kemampuan untuk menghantarkan listrik. Material konduktor memiliki kemampuan penghantar listrik yang paling baik, isolator yang paling buruk sedangkan semikonduktor berada di tengah-tengah mereka. Material konduktor biasanya digunakan sebagai bahan kabel, penangkal petir, dll. Sedangkan isolator digunakan pada karet kabel atau alat-alat yang diharapkan tidak dapat menghantarkan listrik. Hal ini dikarenakan kemampuan elektron mengalir dalam material tersebut. Jika dilihat dari kurva energi, konduktor memiliki bandgap yang overlap antara pita valensi dan konduksi, untuk isolator pita valensi dan konduksi terpisah oleh zona terlarang elektron memiliki Band Gap yang sangat besar, sedangkan semikonduktor pita valensi dan konduksi terpisah oleh zona terlarang elektron namun tidak terlalu jauh.

Material sendiri memiliki beberapa sifat kapasitif seperti kapasitansi, konduktivitas, resistifitas, dan impedansi dalam arus AC. Dalam elektronika kapasitansi adalah kemampuan suatu perangkat untuk menampung atau menyimpan muatan listrik. Umumnya, kapasitansi ditemukan dalam medan elektromagnetik, yang menggunakan jenis tertentu dari gaya fisik pada partikel. Gaya ini membuat partikel akan menampilkan gerakan sebagai hasil dari interaksi muatan listrik. Perhitungan jumlah energi listrik yang tersimpan sebagai potensial listrik yang diberikan juga dikenal sebagai Kapasitansi. Biasanya, diukur dalam volt, potensial listrik secara sederhana adalah besaran fisik yang setara dengan joule per coulomb. Sebuah kapasitor dengan pelat sejajar adalah bentuk umum dari perangkat penyimpanan energi.

Dalam teori arus Dc (kasus khusus dari teori ac dimana sama dengan frekuensi 0 Hz) resistansi didefinisikan oleh Hukum Ohm pada Persamaan 2.4.

$$V = I \times R \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan menggunakan hukum Ohm, dapat diterapkan tegangan dc (V) ke rangkaian, pengukuran yang arus dihasilkan (I), dan penghitungan resistansi (R) atau menentukan syarat

persamaan jika dua besaran yang lainnya diketahui. Nilai tegangan dihitung dalam volt (V), arus dalam ampere (A), hambatan dalam ohm. Resistor adalah elemen yang menghambat aliran elektron dalam rangkaian dc. Dalam teori arus AC, di mana frekuensi tidak nol, persamaan yang serupa diberikan oleh Persamaan 2.5.

$$V = I \times Z \dots\dots\dots(2.5)$$

Seperti pada persamaan 2.5, V dan I disini diartikan sebagai tegangan dan arus. Z didefinisikan sebagai Impedansi yang berupa hambatan. Nilai Impedansi juga diukur dalam ohms. Selain resistor, kapasitor juga menghalangi aliran elektron dalam rangkaian ac.

Dalam sebuah *electrochemical cell*, ilmu gerak lambat elektroda, memperlambat proses reaksi kimia, dan difusi dapat menghalangi aliran elektron, dan dapat dianggap sejalan dengan resistor, kapasitor dan induktor yang menghalangi aliran elektron dalam sebuah rangkaian ac. Dalam kasus hubungan resistif sesungguhnya, dua bentuk gelombang tidak akan berubah. Mereka akan benar-benar dalam fase, hanya berbeda dalam amplitude.

Persyaratan Impedansi dan resistansi keduanya untuk menunjukkan aliran elektron atau arus. Pada rangkaian arus searah (dc), hanya resistor yang menghasilkan efek ini. Namun, pada rangkaian arus bolak-balik (ac), dua elemen rangkaian lainnya, kapasitor dan inductors, menghalangi aliran elektron. Impedansi dapat dinyatakan sebagai angka yang kompleks, di mana resistansi adalah komponen real dan gabungan komponen kapasitansi dan induktansi yang merupakan komponen imajiner. Impedansi total di rangkaian merupakan gabungan dari semua oposisi resistor, kapasitor dan induktor untuk mengalirkan elektron. oposisi dari kapasitor dan induktor bernama sama yaitu reaktansi (X).

Konduktivitas listrik adalah ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan bergerak akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan

sebagai ratio dari rapat arus terhadap kuat medan listrik. Pada beberapa jenis bahan dimungkinkan terdapat konduktivitas listrik yang anisotropik. Lawan dari konduktivitas listrik adalah resistivitas listrik atau biasa disebut sebagai resistivitas saja.

## 2.10 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dan nilai kapasitansi dari superkapasitor *Graphene* dengan beberapa jenis metode yang digunakan dalam pembuatan *Graphene* dan aplikasinya dalam superkapasitor.

**Tabel 2.2** Perbandingan Nilai Kapasitansi dari Superkapasitor *Graphene*

Material	Perlakuan	Kapasitansi Spesifik (F/g)	Peneliti
<i>Graphene</i>	Deposit pada nickel foam	125,87	Hanung dkk (2015)
<i>Graphene</i>	Ultrasonikasi dan hidrotermal	190,01	Adhtiawan, dkk (2014)
<i>Graphene</i>	Massa Zink	90,623	Suwandana, dkk (2014)
<i>Graphene</i>	Ultrasonikasi dan hidrotermal	491,36	Nurdiansah H, dkk (2014)
<i>Nitrogen doped Graphene</i> dari Sutra Kepompong	Temperatur karbonisasi dan % Nitrogen	348	Vikrant Sahu, dkk (2015)
<i>Nitrogen doped Graphene</i>	<i>Graphene</i> dengan variasi doping nitrogen	208,47	Dyah Ayu Safitri, dkk (2016)
<i>Bhoron doped Graphene</i>	<i>Graphene</i> dengan variasi doping bhoron	192,5	Yurian A. A, dkk (2017)

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Bahan**

Beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Serbuk Grafit berukuran 150  $\mu\text{m}$  (*purity* 99%)
2. Serbuk Aluminium (Al) merk PUDAK *scientific*
3. Aquades ( $\text{H}_2\text{O}$ )
4. Larutan Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
5. Larutan Asam Klorida 37% (HCl)
6. Es Batu
7. *Nickel Foam*
8. Natrium Nitrat ( $\text{NaNO}_3$ )
9. Potassium Permanganat ( $\text{KMnO}_4$ )
10. Hidrogen Peroksida 30% ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )
11. Barium Klorida ( $\text{BaCl}_2$ )
12. Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )

#### **3.2 Alat Penelitian**

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Neraca Analitik (Digital)  
Alat ini berfungsi untuk mengukur massa/berat suatu benda padatan.
2. Pipet  
Alat ini berfungsi untuk mengambil larutan dalam suatu wadah.
3. Spatula  
Alat ini berfungsi untuk mengambil bahan padatan.
4. *Hot Plate Stirrer* dengan *Magnetic Spin Bar*  
Alat ini berfungsi untuk menghomogenkan suatu larutan dengan menggunakan putaran medan magnet untuk memutar *spin bar*.
5. *Muffle Furnace*

---

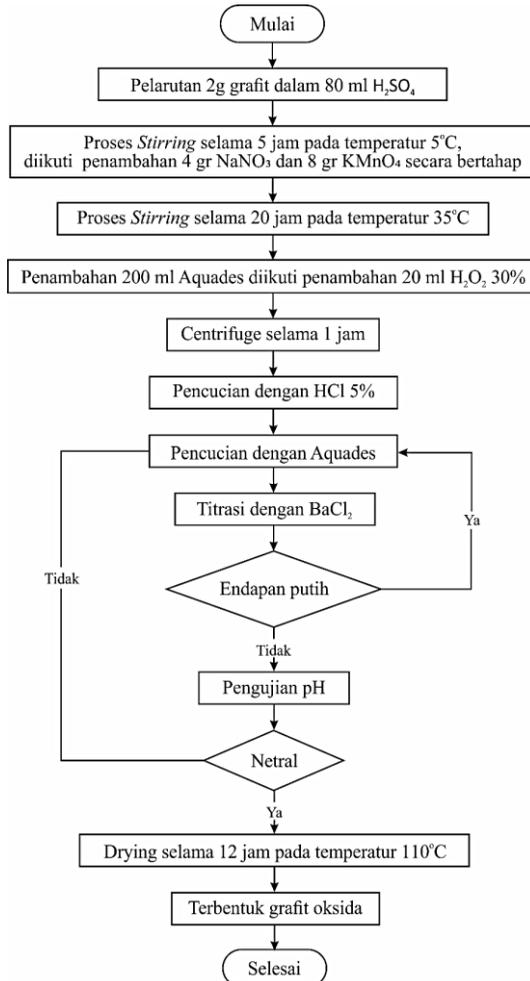
Alat ini berfungsi untuk proses pembuatan grafit oksida (GO) dan *reduced graphene oxide* (rGO).

6. *Ice Bath*  
Alat ini berfungsi untuk tempat peletakan es batu dan *glass beaker* selama proses *stirring* sintesis grafit oksida.
  7. Sarung Tangan dan Masker  
Alat ini berfungsi untuk melindungi dari gas dan bahan kimia berbahaya selama proses sintesis.
  8. Gelas Ukur  
Alat ini berfungsi untuk mengukur volume cairan.
  9. Glass Beaker  
Alat ini berfungsi untuk tempat aktivitas kimia.
  10. *Centrifuge* dan Tabung *Centrifuge*  
Alat ini berfungsi untuk memisahkan partikel terdispersi
  11. *Ultrasonic Cleaner*  
Alat ini berfungsi untuk homogenisasi dan pengelupasan lembaran grafit oksida menjadi *reduced graphene oxide*.
  12. Instrumen Karakterisasi Material
    - a. *X-Ray Diffraction* (XRD)  
Alat ini berfungsi untuk mengetahui senyawa yang terkandung dalam sampel serta struktur dan ukuran kristalnya.
    - b. *Scanning Electron Microscope* (SEM)  
Alat ini berfungsi untuk menganalisis morfologi yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek.
    - c. *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS)  
Alat ini berfungsi untuk menganalisa kandungan unsur yang ada di dalam material
    - d. *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)  
Alat ini berfungsi untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam sampel.
    - e. *Cyclic Voltammetry* (CV)  
Alat ini berfungsi untuk mengetahui nilai kapasitansi dari hasil percobaan.
    - f. Galvanostat *Charge-Discharge*
-

- Alat ini berfungsi untuk mengetahui waktu *charging* dan *discharging* pada elektroda superkapasitor
- g. *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)  
Alat ini berfungsi untuk mengetahui nilai impedansi dari elektroda.

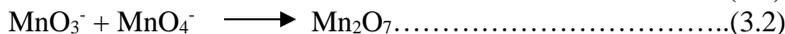
### 3.3 Diagram Alir Penelitian

#### 3.3.1 Sintesis Grafit Oksida

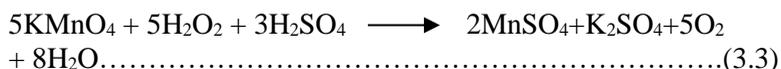


**Gambar 3.1** Diagram Alir Sintesis Grafit Oksida

Pada Gambar 3.1 ditunjukkan diagram alir sintesis grafit oksida. Sintesis grafit oksida bahan baku utama yang dibutuhkan adalah grafit. Sintesis grafit oksida dilakukan dengan mengoksidasi grafit melalui metode Hummer sesuai Gambar 3.1. Bahan yang digunakan pada sintesis grafit oksida adalah grafit, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, KMnO<sub>4</sub>, HCl 5%, dan aquades. Proses pertama dimulai dengan menimbang massa grafit sebesar 2 gram kemudian dilarutkan ke dalam 80 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98%. Selanjutnya, preparasi dengan menambahkan es batu di sekeliling *glass beaker* pada *ice bath* dengan kondisi temperatur 5°C. Proses *stirring* larutan di atas *hot plate stirrer* dilakukan selama 2 jam. Kemudian, penambahan 8 gram KMnO<sub>4</sub> dan 4 gram NaNO<sub>3</sub> secara bertahap dan bergantian ke dalam larutan dalam kondisi tetap *stirring* temperatur 5°C. Penambahan KMnO<sub>4</sub> menyebabkan warna larutan dari hitam pekat menjadi hitam kehijauan dan pada permukaan es batu terdapat warna merah muda akibat KMnO<sub>4</sub> yang menguap. Reaksinya dapat ditulis pada Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2.

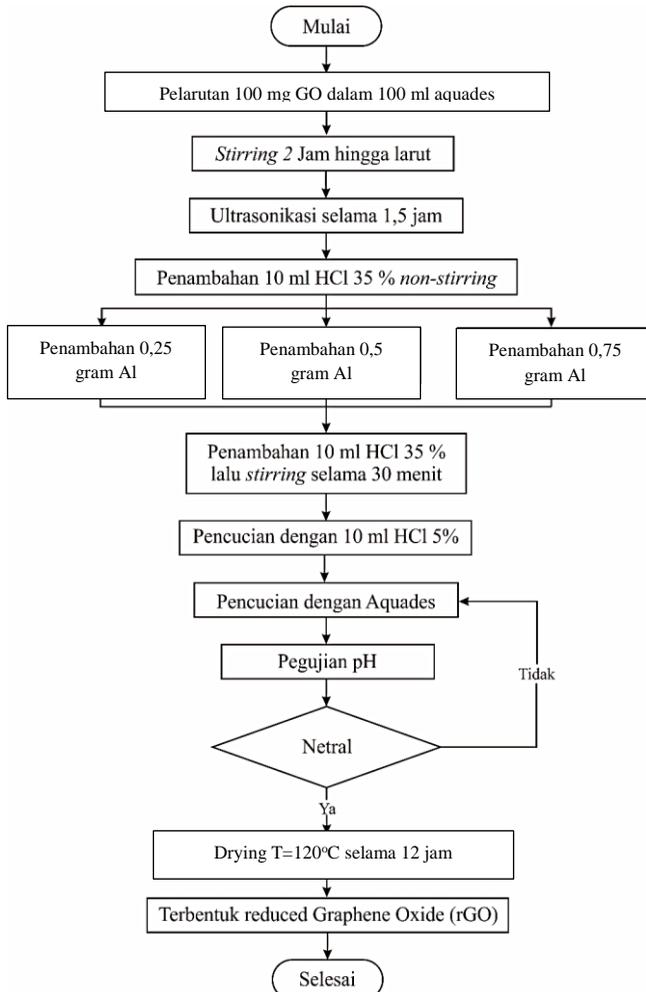


Setelah itu tetap dilakukan *stirring* pada temperatur ±5°C selama 2 jam agar larutan menjadi lebih homogen. Larutan kemudian dikeluarkan dari *ice bath* untuk dilakukan *stirring* pada temperatur kamar selama 20 jam. Setelah *stirring* selama 20 jam, ditambahkan 200 ml Aquades agar larutan tidak terlalu pekat diikuti dengan pelepasan kalor. Proses dilanjutkan dengan *stirring* selama 1 jam. Proses dilanjutkan dengan menambahkan 20 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% untuk menghilangkan kandungan sisa KMnO<sub>4</sub> yang tidak bereaksi dalam larutan. Hasil dari penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% larutan berubah warna dari coklat muda menjadi kuning. Reaksinya dapat ditulis pada Persamaan 3.3.



Hasil larutan kemudian *dicentrifuge* dengan kecepatan 3000 rpm selama 1 jam sehingga terpisah antara cairan dan padatnya. Dari proses *centrifuge* cairan yang diperoleh kemudian dibuang, sedangkan padatnya diambil untuk dilakukan pencucian menggunakan HCl 5% (0,01 M) untuk menghilangkan ion-ion logam yang tersisadalam larutan. Pencucian selanjutnya dilakukan menggunakan Aquades secara berkala agar pH yang diperoleh netral. Untuk menguji apakah ion sulfat telah hilang dan pH telah netral dilakukan titrasi dengan BaCl<sub>2</sub> dan kertas pH. Setelah pH larutan netral dan tidak ada ion sulfat maka proses selanjutnya adalah larutan ditempatkan ke dalam *crucible furnace* 100 ml untuk *drying* selama 12 jam pada temperatur 110°C di dalam *muffle furnace*. Hasil dari proses ini adalah lembaran grafit oksida berwarna hitam mengkilat yang menempel pada dinding *crucible*. Grafit oksida merupakan bahan utama dalam pembuatan *reduced graphene oxide* (rGO).

### 3.3.2 Sintesis *Reduced Graphene Oxide* (rGO)



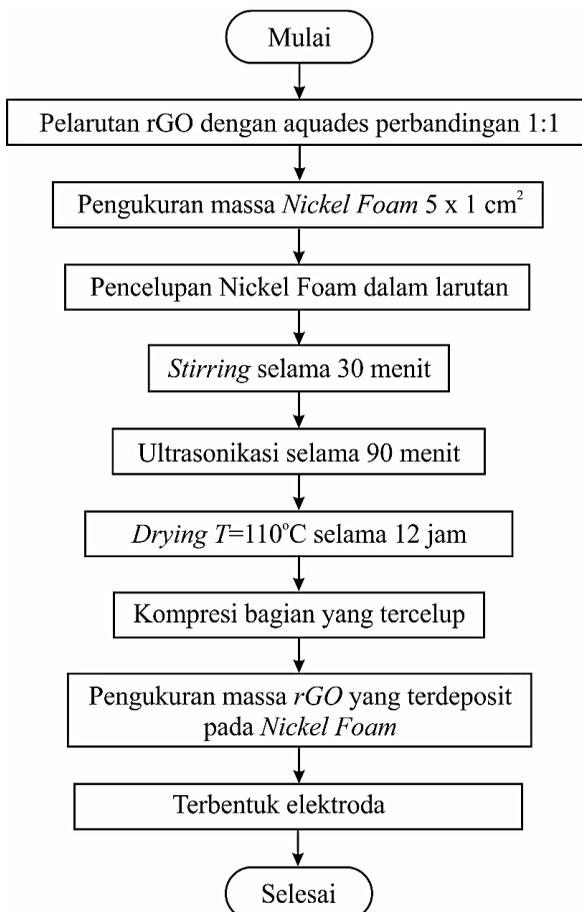
**Gambar 3.2** Diagram Alir Sintesis *Reduced Graphene Oxide* (rGO)

---

Pada Gambar 3.2 ditunjukkan diagram alir sintesis rGO. Untuk memperoleh *reduced Graphene Oxide* (rGO) dilakukan dengan cara mereduksi grafit oksida menjadi *graphene oxide* lalu *graphene oxide* tersebut direduksi dengan reduktor Al untuk mendapatkan *reduced graphene oxide* (rGO). Proses sintesis dimulai dengan cara melarutkan 100 mg grafit ke dalam 100 ml aquades lalu *stirring* selama 2 jam, proses *stirring* ini dilakukan agar larutan menjadi homogen. Selanjutnya dilakukan proses ultrasonikasi selama 1,5 jam. Proses ultrasonikasi ini bertujuan untuk mengelupas grafit oksida menjadi lembaran *graphene oxide*.

Setelah didapatkan *graphene oxide*, lalu menambahkan 10 ml HCl 35% beserta penambahan reduktor Al. Telah dilakukan perhitungan secara stokiometri sebelum ditambahkan massa reduktor Al. Hasil secara stokiometri didapatkan 0,9 gram aluminium yg ditambahkan dalam 1 gram GO. Namun, menurut Fan pada 2010 dengan rute yang sangat efisien, hanya dibutuhkan 1:5 aluminium dalam larutan GO (0,5 gram dalam 1 gram GO). Oleh karena itu, pada penelitian ini menggunakan jumlah reduktor aluminium yang ditambahkan adalah sebesar 0,25 gram ; 0,5 gram ; dan 0,75 gram aluminium. Penambahan HCl dilakukan karena proses reduksi dapat terjadi jika terjadi dalam kondisi lingkungan asam. Proses ini dilakukan dalam keadaan *non-stirring*. Tahap selanjutnya adalah penambahan 10 ml HCl 35%. Penambahan HCl untuk kedua kalinya bertujuan untuk Menghilangkan sisa Al yang masih ada pada larutan. Dilakukan proses *stirring* selama 30 menit. Selanjutnya adalah pencucian, proses pencucian dilakukan dua tahap. Pencucian pertama dilakukan dengan HCl 5%, pencucian ini bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa ion yang ada pada logam. Pencucian selanjutnya dengan menggunakan aquades, pencucian dilakukan berulang sampai mendapatkan pH netral pada larutan. Setelah mendapatkan pH netral, dilanjutkan dengan proses *drying* selama 12 jam dengan temperatur 120°C. Setelah *drying* selesai, maka akan mendapatkan lembaran *reduced Graphene Oxide* (rGO) yang kering.

### 3.3.3 Pembuatan Elektroda



**Gambar 3.3** Diagram Alir Pembuatan Elektroda

Pada Gambar 3.3 ditunjukkan diagram alir pembuatan elektroda. Pembuatan elektroda digunakan untuk pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV), dibuat dengan memotong *nickel foam* berukuran  $2 \times 1 \text{ cm}^2$  kemudian dicelupkan ke dalam larutan *reduced*

---

*graphene oxide* (rGO). Larutan *reduced graphene oxide* (rGO) dibuat dengan melarutkan *reduced graphene oxide* ke dalam aquades dengan perbandingan sebesar 1 mg rGO : 1 ml aquades, kemudian larutan dilakukan *stirring* hingga homogen. Selanjutnya, pencelupan nickel foam ke dalam larutan rGO dengan area tercelup sebesar 1 cm<sup>2</sup> dan *stirring* selama 30 menit. Agar kandungan rGO yang terdeposisi pada *nickel foam* meningkat, maka dilakukan ultrasonikasi selama 90 menit. Setelah itu, sampel dilakukan proses *drying* pada temperatur 110°C selama 12 jam. Setelah kering, sampel dilakukan *pressing* dan diukur massanya untuk mengetahui massa rGO yang terdeposisi pada permukaan nickel foam. Elektroda yang sudah siap kemudian digunakan untuk pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV), Galvanostat *charge-discharge*, dan EIS dengan larutan elektrolit Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M.

### 3.3.4 Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada sampel ditunjukkan oleh Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Pengujian Material

Material	Pengujian						
	XRD	SEM	EDX	FTIR	EIS	CV	Galvanostat <i>Charge-Discharge</i>
Grafit							
GO							
rGO-0,25 gram Al							
rGO-0,5 gram Al							
rGO-0,75 gram Al							
Elektroda 0,25 gram Al							
Elektroda 0,5 gram Al							
Elektroda 0,75 gram Al							

#### 3.3.4.1 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

Alat uji FTIR digunakan untuk melakukan analisa kualitatif yaitu untuk mengetahui ikatan kimia (gugus fungsi) yang

dapat ditentukan dari spektra vibrasi yang dihasilkan oleh suatu senyawa pada panjang gelombang tertentu. Selain itu digunakan juga untuk analisa kuantitatif yaitu melakukan

Perhitungan tertentu dengan menggunakan intensitas. Pada sistim optik FTIR digunakan radiasi LASER (*Light Amplification by Stimulated Emmission of Radiation*) yang berfungsi sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi infra merah agar sinyal radiasi infra merah yang diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik. Detektor yang digunakan dalam Spektrofotometer FTIR adalah TGS (*Tetra Glycerine Sulphate*) atau MCT (*Mercury Cadmium Telluride*). Detektor MCT lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan detektor TGS, yaitu memberikan respon yang lebih baik pada frekwensi modulasi tinggi, lebih sensitif, lebih cepat, tidak dipengaruhi oleh temperatur, sangat selektif terhadap energi vibrasi yang diterima dari radiasi infra merah.

Prinsip kerja spektroskopi FTIR adalah adanya interaksi energi dengan materi. Infra merah dipancarkan melalui interferometer kemudian dipancarkan melalui sampel, sebagian radiasi infrared diserap sampel dan sebagian lain dipancarkan kembali dan tertangkap oleh detector. Vibrasi dapat terjadi karena energi yang berasal dari sinar infrared tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron pada molekul senyawa yang ditembak dimana besarnya energi vibrasi tiap atom atau molekul berbeda tergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkannya sehingga dihasilkan frekuaensi yang berbeda pula. Besarnya radiasi infra merah yang tertangkap oleh detektor kemudian diubah menjadi spektrum oleh Interferogram.



**Gambar 3.4** Alat Uji FTIR

### 3.3.4.2 *Cyclic Voltammetry (CV)*

*Cyclic Voltammetry* adalah suatu teknik analisis kualitatif dan kuantitatif yang dapat memberikan informasi dalam mengkarakterisasi reaksi yang terjadi di dalam sel elektrokimia. 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*). Pada *cyclic voltammetry* respon arus diukur sebagai fungsi potensial (voltase), dimana pemberian potensial dilakukan secara bolak-balik, sehingga informasi reduksi dan oksidasi dapat teramati dengan baik. Karakteristik *cyclic voltammetry* tergantung beberapa faktor yaitu laju reaksi transfer elektron, kereaktifan spesi elektroaktif, dan scan rate voltase. Spesi yang semula dioksidasi pada sapuan potensial awal akan direduksi setelah sapuan potensial balik.

Pada penelitian ini, pengujian *cyclic voltammetry* digunakan untuk mengetahui nilai kapasitansi dari elektroda *nickel*

*foam-rGO*. Pengujian ini dilakukan dengan mendepositkan rGO ke dalam *nickel foam*. Pengujian ini menggunakan larutan elektrolit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1M untuk elektroda *nickel foam-rGO*. Nilai potensial yang digunakan adalah antara 0-0.8V untuk menyesuaikan rentang potensial kerja kapasitor. Instrumen yang digunakan adalah CORR TEST, dengan *counter electrode* grafit dan *reference electrode* Ag/AgCl.

Pada pengujian ini hasil yang didapat adalah grafik *cyclic voltammetry* dan untuk menghitung besarnya kapasitansi spesifik digunakan Persamaan 3.4. Di samping itu, data dari CV menggambarkan sifat kapasitif elektrokimia dari elektroda kerjanya.

$$C = \frac{\int i dV}{2 w \gamma \Delta E} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana,

- C = Kapasitansi Spesifik (F/gram)
- I = Arus (Ampere)
- W = Massa Elektroda Grafena (gram)
- $\gamma$  = Scan Rate (mV/s)
- $\Delta E$  = Potential Window (Volt)

Dari hasil pengujian CV juga dapat diketahui nilai Densitas Energi (E) dan Densitas Power (P) dengan menggunakan Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6.

$$E = 0,5 \times C \times (\Delta V)^2 \dots\dots\dots(3.5)$$

$$P = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(3.6)$$

Dimana,

- E = Densitas Energi (Wh/kg)
- C = Kapasitansi (Farad/gram)
- $\Delta V$  = Potential Window (Volt)

- P = Densitas Power (W/kg)  
t = Waktu discharge (sekon)



**Gambar 3.5** Alat Uji *Cyclic Voltammetry*

### 3.3.4.3 *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

*Scanning Electron Microscopy (SEM)* adalah tipe mikroskop elektron yang menghasilkan gambar dari suatu sampel dengan memindainya menggunakan pancaran elektron berenergi tinggi. Elektron berinteraksi dengan atom di dalam sampel sehingga menghasilkan berbagai sinyal yang memuat informasi tentang topografi permukaan, morfologi, komposisi (unsur dan senyawa beserta jumlah relatif masing-masing) menggunakan EDX (*Energy Dispersive X-Ray Analysis*).

Cara kerja SEM dimulai dengan suatu sinar elektron yang dipancarkan dari *electron gun* yang dilengkapi dengan katoda filamen tungsten. Tungsten digunakan pada *electron gun* karena memiliki titik lebur tertinggi dan tekanan uap terendah dari semua logam, sehingga memungkinkan dipanaskan untuk emisi elektron. Kemudian elektron difokuskan pada *fine probe* yang di *scan* melintasi permukaan spesimen. Elektron yang dipancarkan diperkuat oleh adanya suatu kumparan. Pancaran electron yang mengenai specimen akan dihamburkan dan ditangkap oleh *backscatter electron (BSE)* dan *secondary electron detector*.

Kemudian hasilnya akan diterjemahkan dan ditampilkan dalam bentuk gambar pada layar. Dari pantulan inelastis didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal backscattered electron. Elektron sekunder menghasilkan topografi dari benda yang dianalisa, permukaan yang tinggi berwarna lebih cerah dari permukaan rendah. Sedangkan backscattered electron memberikan perbedaan berat molekul dari atom-atom yang menyusun permukaan, atom dengan berat molekul tinggi akan berwarna lebih cerah daripada atom dengan berat molekul rendah. “*Backscattered electron*” terlepas dari daerah sampel yang lebih dalam dan memberikan informasi terutama pada jumlah atom rata-rata dari sampel. Peristiwa tumbukan berkas sinar electron, yaitu ketika memberikan energi pada sampel, dapat menyebabkan emisi dari sinar-x yang merupakan karakteristik dari atom-atom sampel. Energi dari sinar-x digolongkan dalam suatu tebaran energi spectrometer dan dapat digunakan untuk identifikasi unsur-unsur dalam sampel.



**Gambar 3.6** SEM Inspect S50

#### 3.3.4.4 *X-Ray Diffraction (XRD)*

XRD merupakan salah satu alat pengujian material yang digunakan untuk analisis kualitatif (identifikasi unsur tunggal dan senyawa) dan analisis kuantitatif (penentuan komposisi, ukuran kristal, dll). Sinar-X merupakan salah satu bentuk radiasi elektromagnetik yang mempunyai energi antara 200 eV – 1 MeV dengan panjang gelombang antara 0,5–2,5 Å. Panjang gelombangnya hampir sama dengan jarak antara atom dalam kristal, menyebabkan sinar-X menjadi salah satu teknik dalam analisa mineral.

Prinsip kerja XRD terdiri dari 4 tahap yaitu produksi, difraksi, deteksi dan interpretasi. Untuk dapat melakukan fungsinya, XRD dilengkapi oleh komponen-komponen penting seperti tabung sinar X, monochromator, detector dan lain-lain. Pada tahap produksi, elektron yang dihasilkan ketika filamen (katoda) dipanaskan akan dipercepat akibat perbedaan tegangan antara fiamen (katoda) dengan spesineb target (anoda) sehingga terjadi tumbukan dengan spesimen target yang akan menghasilkan radiasi sinar-X yang keluar dari tabung sehingga berinteraksi dengan struktur kristal yang diuji. Selanjutna, pada tahap difraksi material akan dianalisis struktur kristalnya harus berada dalam fasa padat karena dalam kondisi tersebut kedudukan atom-atomnya berada dalam susunan yang sangat teratur sehingga membentuk bidang kristal. Ketika sinar-X diarahkan pada bidang kristal tersebut, maka akan timbul pola-pola difraksi ketika sinar-X melewati celah-celah kecil di antara bidang-bidang kristal. Pada tahap selanjutnya, interferensi konstruktif radiasi sinar-X hasil difraksi struktur kristal material yang diuji akan dideteksi oleh detektor. Agar detektor dapat mendeteksi interferensi konstruktif radiasi sinar-X hasil difraksi struktur kristal, maka posisinya harus berada tepat pada arah sudut pantul radiasi sinar-X tersebut. Tahap terakhir, interferensi konstruktif radiasi sinar-X yang telah dideteksi oleh detektor kemudian akan diperkuat oleh gelombang dengan menggunakan *amplifier*. Lalu interferensi konstruktif radiasi sinar-X tersebut akan terbaca secara spektroskopi sebagai

puncak-puncak grafit yang akan ditampilkan oleh *display*. Dengan menganalisis puncak-puncak grafik tersebut maka struktur kristal suatu material dapat diketahui.



**Gambar 3.7** Instrumen XRD PANalytical

#### 3.3.4.5 *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*

*Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)* adalah metode untuk menganalisis suatu elektroda terhadap sinyal potensial AC pada amplitudo rendah (5-10 mV) dari rentang frekuensi yang sangat lebar. Pada prinsipnya, EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti tahanan R, kapasitansi C dan induksi L. Tahanan listrik dalam EIS dinyatakan dengan impedansi (Z) yaitu ukuran kemampuan suatu rangkaian dalam menahan aliran arus listrik. Dalam impedansi, sinyal potensial dan arus AC berada dalam fase berbeda dan nilainya dipengaruhi oleh frekuensi.

Hasil dari pengujian EIS berupa tiga gambar kurva yaitu plot Nyquist, plot bode  $|Z|$  dan plot bode  $[C]$ . EIS diukur melalui

potensial AC yang dialirkan pada sel elektrokimia untuk mengetahui besar arus yang mengalir dalam sistem. Tahanan listrik dalam EIS dinyatakan dengan impedansi ( $Z$ ) yaitu ukuran kemampuan suatu rangkaian dalam menahan aliran arus listrik. Dalam impedansi, sinyal potensial dan arus AC berada dalam fase berbeda dan nilainya dipengaruhi oleh frekuensi.

Pengujian EIS menggunakan *set-up* 3 elektroda dimana elektroda kerja adalah elektroda superkapasitor, elektroda referensi menggunakan Ag/AgCl dan elektroda *counter* menggunakan grafit. Elektrolit yang digunakan adalah  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1M dengan rentang tegangan 0 – 0.8 Volt. Nilai kapasitansi dari data EIS dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

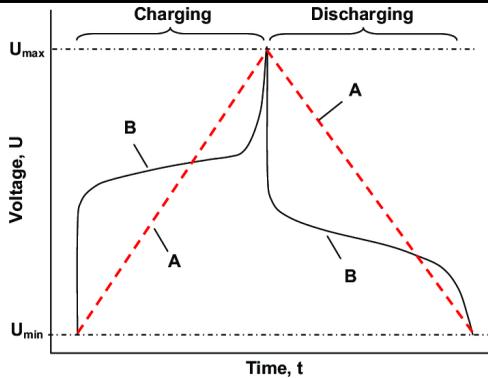
$$C = \frac{1}{2\pi fZ''} \dots \dots \dots (3.7)$$

Dimana:

- C = Kapasitansi (F)
- $\pi$  = 3.14
- f = Frekuensi (Hz)
- $Z''$  = Impadansi Imajiner ( $\Omega$ )

### 3.3.4.6 Galvanostat *Charge-Discharge*

Pengujian Galvanostat *charge-discharge* dilakukan untuk mengetahui waktu pengisian dan pengosongan muatan pada elektroda superkapasitor. Dalam pengujian ini, arus yang digunakan adalah 1 mA, 2 mA, dan 3 mA dengan rentang potensial 0 – 0.8 Volt. Alat yang digunakan yaitu CORR TEST, sama seperti alat uji yang digunakan pada CV.



**Gambar 3.8** Skema Hasil Uji *Charge-Discharge*  
(Akinwolema dkk,2015)

Untuk mencari nilai kapasitansi dari hasil pengujian *Charge-Discharge*, digunakan rumus sebagai berikut.

$$C = \frac{I \times t}{m \times \Delta E} \dots \dots \dots (3.8)$$

Dimana:

- C = Kapasitansi (F)
- I = Arus (Ampere)
- t = Waktu charging/discharging
- m = Massa aktif dari elektroda (gram)
- $\Delta E$  = Potential Window (Volt)

### 3.4 Jadwal Kegiatan

Jadwal kegiatan untuk penelitian ini dilaksanakan seperti pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Jadwal Kegiatan

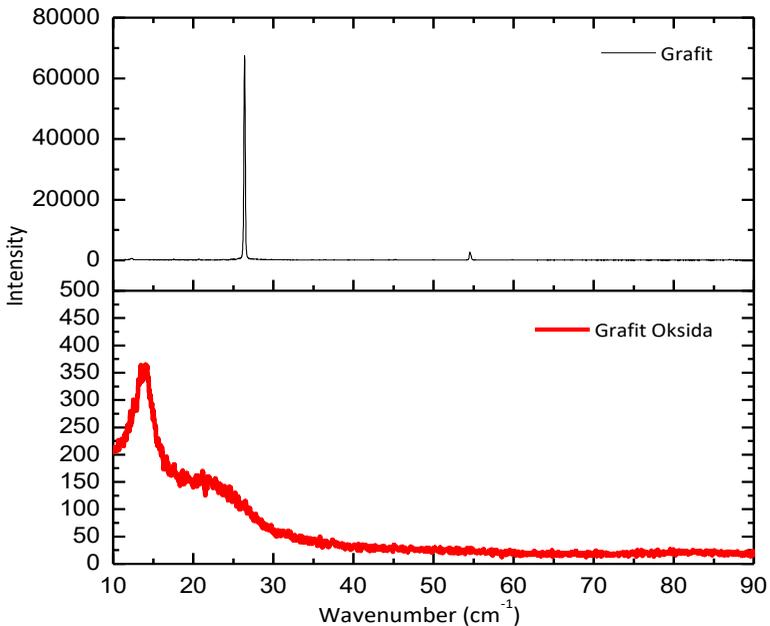
No	Kegiatan	Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4				Bulan 5			
		I	II	III	IV																
1	Asistensi ke Dosen Pembimbing	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■													
3	Persiapan alat dan Bahan	■	■	■	■																
4	Pembuatan Proposal TA	■	■	■	■																
5	Sintesis Grafit Oksida		■	■	■	■	■	■													
6	Sintesis rGO					■	■	■	■	■	■	■									
7	Pembuatan Elektroda									■	■	■	■	■	■	■	■				
8	Pengujian Sampel			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
9	Analisis Data dan pembahasan																	■	■	■	■
10	Pembuatan Laporan Akhir TA																	■	■	■	■

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian XRD dilakukan pada grafit, grafit oksida, dan *reduced graphene oxide* untuk mengetahui perbedaan posisi puncak yang mengindikasikan adanya perubahan struktur dari grafit yang disintesis menjadi grafit oksida yang akhirnya menjadi *reduced graphene oxide*. Pengamatan difraksi sinar X dilakukan pada sudut  $2\theta = 5^\circ - 90^\circ$  dengan panjang gelombang Cu-K $\alpha$  1.54060 Å.

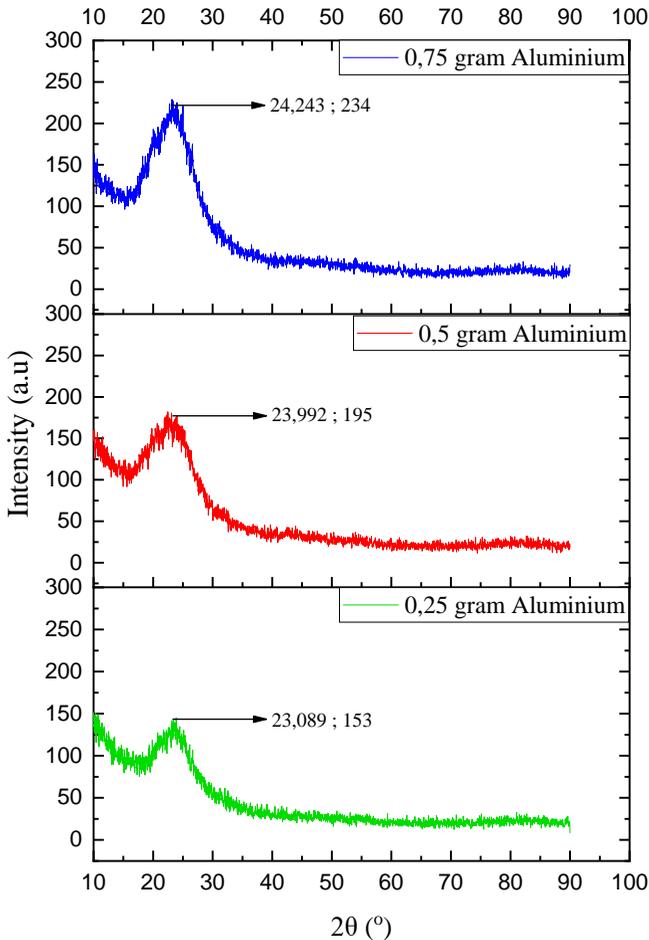


**Gambar 4.1** Perbandingan Hasil XRD Grafit dan Grafit Oksida

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat perbandingan antara grafit dan grafit oksida. Dapat diketahui bahwa grafit memiliki peak yang sangat tajam pada posisi  $2\theta = 26.41^\circ$  dengan nilai  $d_{\text{spacing}}$

---

sebesar  $3.37\text{\AA}$  sesuai dengan ICCD 00-041-1487, hal ini menunjukkan bahwa grafit memiliki sifat kristalinitas yang sangat baik. Selain itu, terdapat juga peak grafit yang lemah pada posisi  $2\theta = 54.55^\circ$ . Kemudian grafit dioksidasi menjadi grafit oksida, berganti dengan terbentuknya *peak* pada posisi  $2\theta = 13.73^\circ$  dengan nilai  $d_{\text{spacing}}$  yang lebih besar dari  $d_{\text{spacing}}$  grafit yaitu  $6.55\text{\AA}$ , serta terjadi penurunan intensitas apabila dibandingkan dengan intensitas pada grafit. Hasil tersebut terdapat kesesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Changjing, Zhao, dan Shuang (2013) yang memiliki puncak pola XRD grafit pada  $2\theta = 26.58^\circ$  dan grafit oksida sekitar  $2\theta = 14^\circ$ . Untuk mendapatkan *reduced graphene oxide* (rGO) maka diperlukan proses reduksi GO menggunakan aluminium. Pada penelitian ini ditambahkan aluminium sebagai agen pereduksi dengan variasi massa 0,25 gram, 0,5 gram dan 0,75 gram yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Perbandingan Hasil XRD pada rGO dengan Variasi Massa Reduktor Aluminium 0,25 gram, 0,5 gram, dan 0,75 gram.

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat hasil XRD dari ketiga rGO dengan variasi massa reduktor aluminium. Terdapat perbedaan yang tidak signifikan, terlihat posisi puncak yang muncul hampir sama yaitu sekitar  $2\theta = 23^\circ - 24^\circ$  dan  $d_{\text{spacing}} = 3.6 \text{ \AA}$

– 3.9 Å. Untuk penambahan massa 0,25 gram aluminium memiliki peak pada posisi  $2\theta = 23.089^\circ$  dan  $d_{\text{spacing}} = 3.85 \text{ \AA}$ . Pada penambahan massa 0,5 gram aluminium memiliki peak pada posisi  $2\theta = 23.792^\circ$  dan  $d_{\text{spacing}} = 3.73 \text{ \AA}$ . Serta penambahan massa 0,75 gram aluminium memiliki peak pada posisi  $2\theta = 24.243^\circ$  dan  $d_{\text{spacing}} = 3.66 \text{ \AA}$ . Dari hasil tersebut, menunjukkan bahwa semakin banyak massa reduktor yang ditambahkan maka akan meningkatkan intensitas peak pada rGO. Nilai intensitas puncak pada rGO dengan massa reduktor 0,25 gram, 0,5 gram, dan 0,75 gram berturut-turut adalah sebesar 153, 195, dan 234.

Menurunnya intensitas dari grafit menjadi *reduced graphene oxide* dikarenakan semakin berkurangnya jumlah *layer* pada rGO akibat pengelupasan secara kimia serta struktur kristal dari rGO yang amorfus. Tingkat intensitas pada XRD mempengaruhi sifat dari kristalinitas rGO, dimana semakin baik sifat kristalinitasnya maka semakin teratur susunan atom materialnya yang akhirnya semakin mudah elektron untuk mengalir (Theivasanthi dkk, 2013). Hasil tersebut terdapat kesesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Zhuangjun Fan dkk (2010) yang menggunakan reduktor aluminium untuk mereduksi grafit oksida mejadi *reduced graphene oxide* dengan posisi puncak rGO pada  $2\theta = 23.4^\circ$

Perhitungan jarak antar layer ( $d_{\text{spacing}}$ ) menggunakan Hukum Bragg yang bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi massa aluminium terhadap jarak antar layer (*interlayer distance*). Perhitungan jarak antar layer menggunakan Persamaan 4.1.

$$d_{002} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \dots\dots\dots(4.1)$$

dimana :  $d_{002}$  = Jarak antar layar  
 $\lambda$  = Panjang Gelombang (1.54 Å )  
 $\theta$  = Sudut Difraksi ( $^\circ$ )

Hasil dari perhitungan jarak antar layer untuk material grafit, grafit oksida, dan *reduced graphene oxide* disajikan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Perhitungan Jarak Antar Layer Grafit, Grafit Oksida, dan *Reduced Graphene Oxide*

Material	Massa aluminium (gram)	Jarak antar layer (Å)
Grafit	-	3,37
Grafit Oksida	-	6,55
<i>Reduced graphene oxide</i>	0,25	3,85
	0,5	3,73
	0,75	3,66

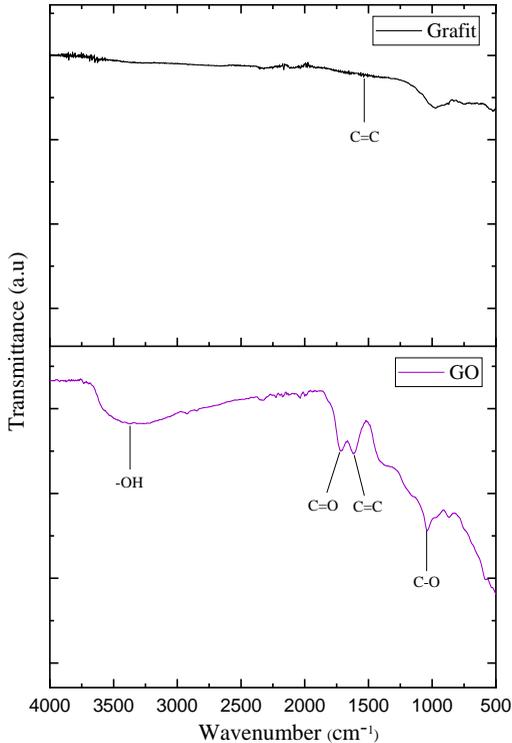
Berdasarkan Tabel 4.1 terdapat peningkatan jarak antar layer dari grafit menjadi grafit oksida. Adanya perubahan posisi puncak, nilai  $d_{\text{spacing}}$  dan nilai intensitas dikarenakan adanya penambahan gugus hidroksil pada proses oksidasi material grafit (Luo dkk, 2018). Namun saat terbentuk *reduced graphene oxide* terjadi penurunan nilai jarak antar layer dari grafit oksida yang mendekati nilai jarak antar layer grafit. Dengan semakin mengecilnya nilai  $d_{\text{spacing}}$  dari grafit oksida menjadi *reduced graphene oxide*, hal ini menandakan bahwa proses reduksi grafit oksida menggunakan aluminium telah berhasil dilakukan, namun masih terdapat sedikit gugus fungsional hidroksil yang tersisa.

#### 4.2 Hasil Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Pengujian FTIR dilakukan pada material grafit, grafit oksida, dan *reduced graphene oxide* dengan variasi massa reduktor aluminium 0,25 gram, 0,5 gram dan 0,75 gram. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk selama proses sintesa serta untuk membedakan gugus fungsi antara grafit oksida dan *reduced graphene oxide*. Pengujian ini menggunakan mesin Nicolet IS10 dengan *range* panjang gelombang sebesar 500-4000  $\text{cm}^{-1}$ .

Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan hasil FTIR antara grafit dan grafit oksida. Adanya proses oksidasi yang dilakukan pada material grafit, memunculkan beberapa *peak* gelombang. Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa grafit oksida memiliki banyak gugus

yang berisi O dan H. Grafit oksida pada bilangan gelombang 3281  $\text{cm}^{-1}$  terdapat ikatan O–H yang mengindikasikan bahwa grafit berhasil dioksidasi, ikatan C–O yang merupakan *Alkoxy* dengan bilangan gelombang 1041  $\text{cm}^{-1}$ , kemudian terdapat ikatan C=C (*aromatic*) pada 1600  $\text{cm}^{-1}$  dan ikatan C=O pada bilangan gelombang 1714  $\text{cm}^{-1}$ .



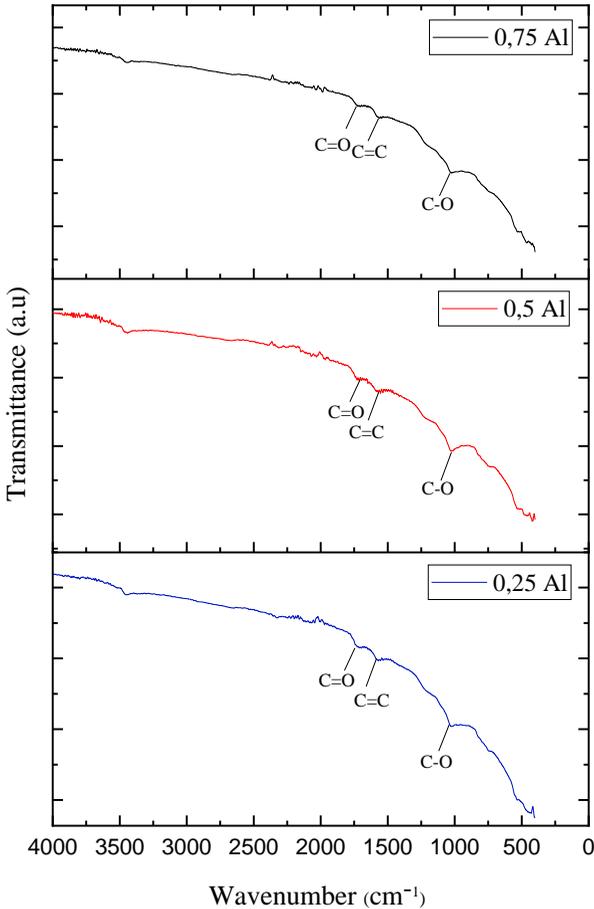
**Gambar 4.3** Hasil Uji FTIR Grafit dan Grafit Oksida

Hasil tersebut telah sesuai menurut Tabel 4.2 yang dapat menunjukkan beberapa ikatan yang umum dalam grafit oksida.

**Tabel 4.2** Jenis Gugus Ikatan pada Sampel GO  
(Alazmi dkk, 2016)

No	Wavenumber ( $\text{cm}^{-1}$ )	Range Wavenumber ( $\text{cm}^{-1}$ )	Jenis Ikatan
1	1041	1030-1150	C – O (Alkoxy)
2	1600	1400-1600	C = C (Aromatik)
3	1714	1690-1723	C = O (Carbonyl)
4	3281	3200-3700	O – H (Alkohol)

Kemudian grafit oksida direduksi menggunakan aluminium dengan variasi massa 0,25 gram, 0,5 gram dan 0,75 gram. Setelah proses reduksi, semua pita absorpsi dari gugus yang mengandung oksigen (misalnya O-H, C=O, dan C-O) secara substansial melemah (Alazmi dkk, 2016) yang hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 4.4.



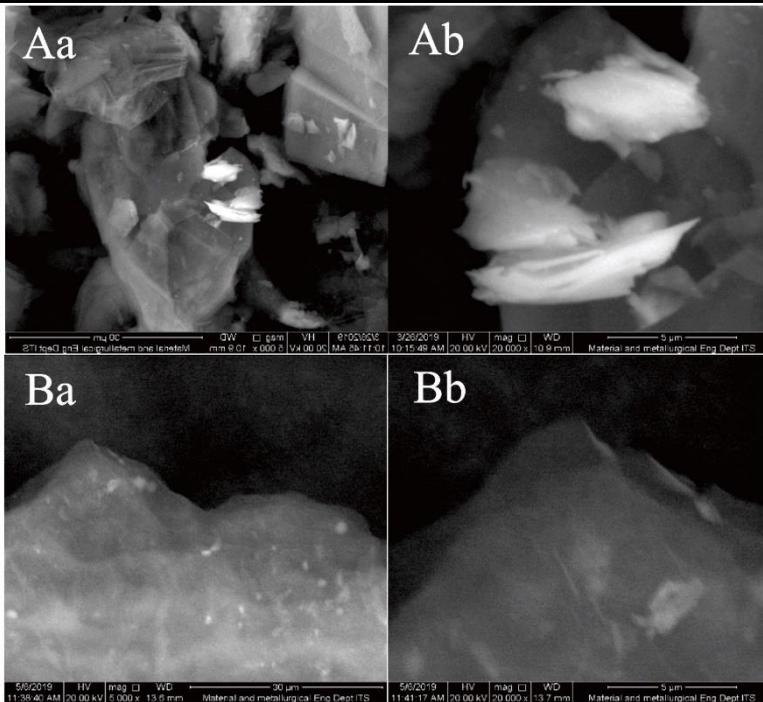
**Gambar 4.4** Hasil Uji FTIR rGO dengan Variasi Massa Aluminium 0,25 gram, 0,5 gram dan 0,75 gram

Proses reduksi grafit oksida menjadi *reduced graphene oxide* memunculkan beberapa *peak* dengan *wavenumber*. Pada penambahan 0,25 gram Al teridentifikasi ikatan C=C pada *wavenumber* 1597 cm<sup>-1</sup>, C=O pada pada *wavenumber* 1695 cm<sup>-1</sup>, dan C-O pada *wavenumber* 1130 cm<sup>-1</sup>. Pada penambahan 0,5 gram

Al teridentifikasi ikatan C=C pada *wavenumber* 1593 cm<sup>-1</sup>, C=O pada *wavenumber* 1710 cm<sup>-1</sup>, dan C-O pada *wavenumber* 1100 cm<sup>-1</sup>. Kemudian, pada penambahan 0,75 gram Al teridentifikasi ikatan C=C pada *wavenumber* 1595 cm<sup>-1</sup>, C=O pada *wavenumber* 1720 cm<sup>-1</sup>, serta C-O pada *wavenumber* 1035 cm<sup>-1</sup>. Hasil analisa FTIR antara Grafit oksida dan *reduced graphene oxide* menunjukkan adanya perbedaan, grafit oksida mempunyai ikatan O-H sedangkan pada *reduced graphene oxide* tidak terdapat ikatan O-H, hal ini dikarenakan proses reduksi yang terjadi serta proses *exfoliated* sehingga menghilangkan ikatan O-H. Sehingga memiliki tingkat kemurnian yang lebih baik.

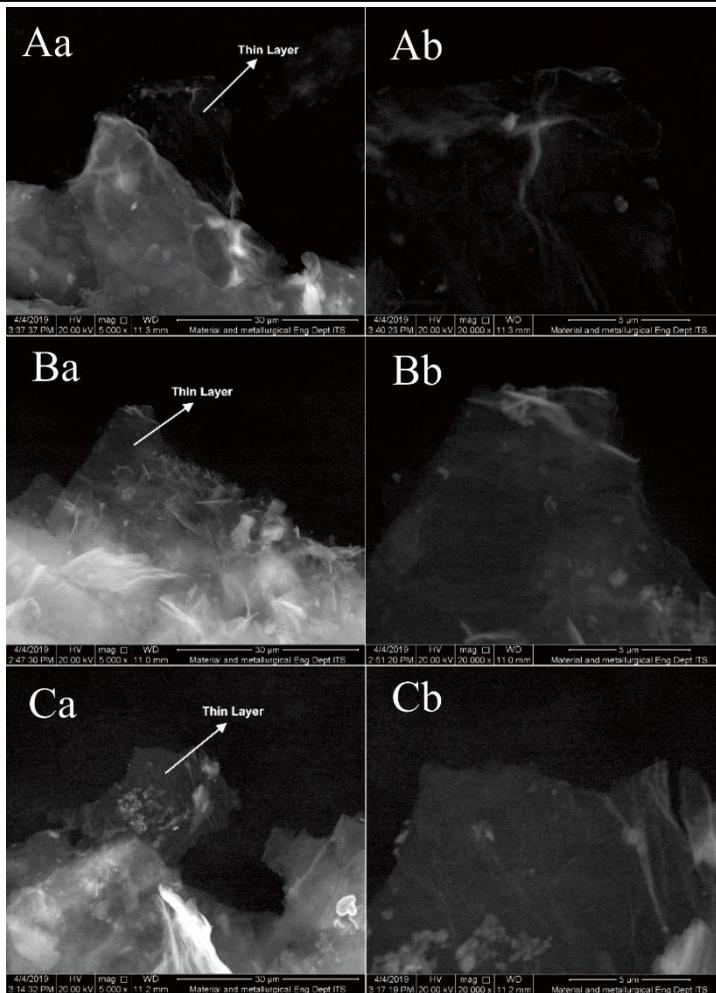
#### 4.3 Hasil Pengujian *Scanning Elektron Microscopy* (SEM)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dari grafit, grafit oksida, *reduced graphene oxide*, *nickel foam*, dan elektroda superkapasitor. Pada Gambar 4.2A, menunjukkan morfologi grafit sebagai *raw material* memiliki morfologi yang berbentuk *flake* (serpihan), kecil, menyebar, tidak beraturan pada permukaannya, serta runcing pada bagian ujungnya. Kemudian grafit mengalami proses oksidasi menjadi grafit oksida (GO) yang ditunjukkan pada Gambar 4.2B, terlihat terjadi perubahan dari yang awalnya ketebalan grafit tidak teratur berubah menjadi grafit oksida (GO) dengan lembaran-lembaran yang berlapis dan lebih beraturan. Serta morfologi grafit oksida yang lebih tipis dan transparan daripada grafit.



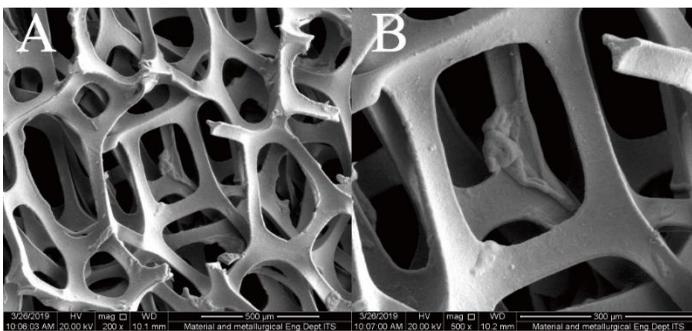
**Gambar 4.5** Hasil SEM dari Grafit (A) dan Grafit Oksida (B) dengan Perbesaran (a) 5.000x dan (b) 20.000x.

Grafit oksida kemudian mengalami proses reduksi lebih lanjut menjadi *reduced graphene oxide* (rGO) menggunakan agen pereduksi aluminium dengan variasi massa 0,25 gram, 0,5 gram dan 0,75 gram untuk menghilangkan gugus hidroksil pada grafit oksida yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6.



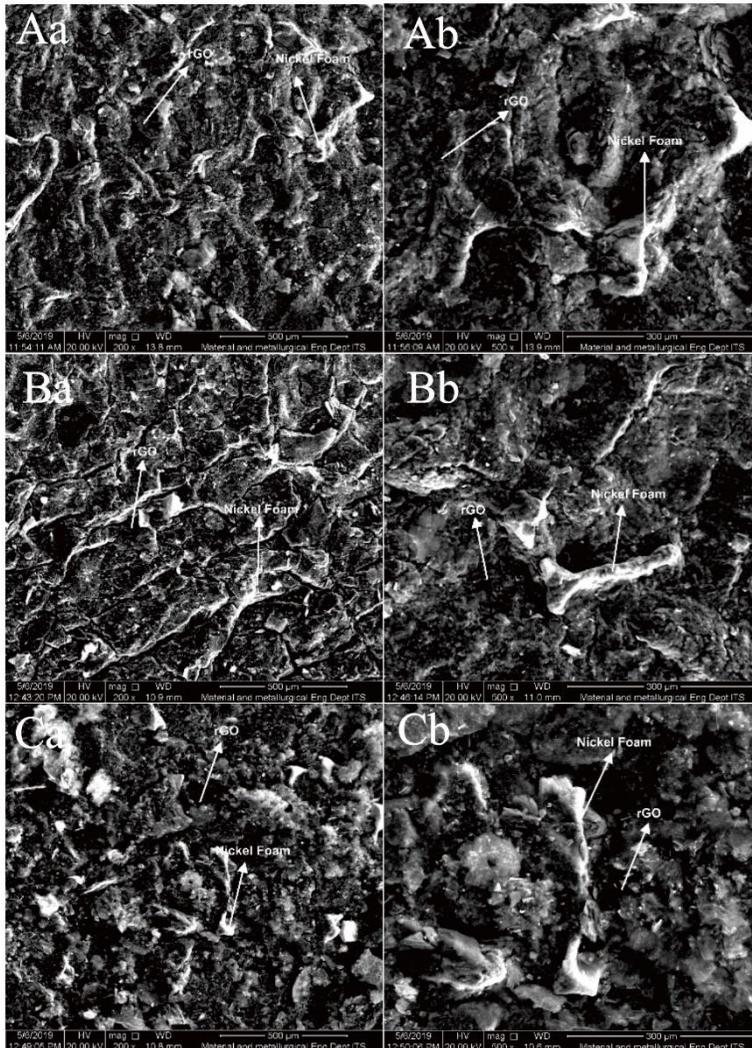
**Gambar 4.6** Hasil SEM dari *Reduced Graphene Oxide* dengan Variasi Massa Aluminium 0,25 gram (A), 0,5 gram (B) dan 0,75 gram (C) dengan Perbesaran (a) 5.000x dan (b) 20.000x.

Perbedaan morfologi permukaan yang terjadi pada *reduced graphene oxide* disebabkan oleh perbedaan massa aluminium sebagai agen pereduksi yang diberikan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 pada perbesaran 5000x dan 20.000x terlihat bahwa ketiganya hampir tidak ada perbedaan yang signifikan. Namun, jika diamati lebih dalam pada perbesaran 20.000x, pada Gambar 4.6Ab rGO dengan massa aluminium 0,25 gram memiliki morfologi permukaan yang cukup kasar dan lembaran rGO yang lebih tebal dibandingkan dengan yang lain. Pada Gambar 4.6Bb, rGO dengan massa aluminium 0,5 gram memiliki morfologi permukaan yang cukup halus serta tipis dibandingkan dengan massa rGO dengan massa aluminium 0,25 gram. Sedangkan pada Gambar 4.6C, rGO dengan massa aluminium 0,75 gram memiliki morfologi permukaan yang paling halus dibandingkan rGO dengan massa 0,5 gram dan 0,25 gram. Hal ini berkaitan dengan jarak antar layer dimana  $d_{\text{spacing}}$  yang paling kecil adalah rGO dengan massa aluminium 0,75 gram serta yang paling besar adalah rGO dengan massa aluminium 0,25 gram. Karena hal tersebut maka semakin kecil jarak antar layer maka morfologi rGO akan terlihat lebih halus serta transparan. Apabila jarak antar *layer* semakin bertambah, maka rGO yang seharusnya transparan akan terlihat lebih buram dan tebal.



**Gambar 4.7** Hasil SEM dari *Nickel Foam* dengan Perbesaran (A) 200x dan (B) 500x.

Gambar 4.7 menunjukkan hasil SEM dari *nickel foam* yang berfungsi sebagai pengumpul arus (*current collector*) pada elektroda, terlihat bahwa *nickel foam* memiliki permukaan yang berbentuk *network* dan berongga (*sponge*). Kemudian *nickel foam* dicelupkan pada larutan rGO sehingga rGO mengisi rongga-rongga pada *nickel foam*, hal ini akan meningkatkan luas area kontak elektroda dengan elektrolit yang terlihat seperti pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Hasil SEM dari *Nickel Foam-rGO* dengan Variasi Massa Aluminium 0,25 (A), 0,5 (B) dan 0,75 (C) dengan Perbesaran (a) 200x dan (b) 500x.

Gambar 4.8 menunjukkan morfologi permukaan dari *nickel foam* yang didepositkan serbuk rGO melalui proses ultrasonikasi kemudian dilakukan proses kompresi agar rGO lebih terdeposit ke dalam *nickel foam*. Terlihat bahwa ketiga sampel menunjukkan morfologi yang sama, serbuk rGO seluruhnya terdeposit secara merata serta menutupi permukaan *nickel foam*.

#### 4.4 Hasil Pengujian *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS)

Pengujian EDS dilakukan terhadap grafit oksida serta *reduced graphene oxide* untuk mengetahui kandungan unsur penyusun dan rasio nilai C/O di dalam sampel.

**Tabel 4.3** Komposisi Unsur Penyusun Grafit Oksida

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	52.62	59.67
<i>OK</i>	47.38	40.33

Dari Tabel 4.3 ditunjukkan bahwa grafit oksida tersusun dari unsur karbon dan oksigen dengan persentase atom karbon sebesar 59,67% dan atom oksigen sebesar 40,33%. Dapat dilihat bahwa nilai rasio C/O untuk grafit oksida sebesar 1,48.

**Tabel 4.4** Komposisi Unsur Penyusun rGO dengan Massa Aluminium 0,25 gram

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	68.40	74.69
<i>OK</i>	29.83	24.45
<i>AlK</i>	01.77	00.86

Tabel 4.4 menunjukkan persentase komposisi unsur penyusun rGO dengan massa aluminium 0,25 gram. Unsur penyusunnya yaitu atom karbon sebesar 74,69% dan atom oksigen 24,45%. Dapat dilihat bahwa nilai rasio C/O untuk rGO dengan massa aluminium 0,25 gram adalah 3,05. Dari hasil tersebut menunjukkan adanya pengurangan persen atom O akibat dari proses reduksi

menggunakan aluminium. Namun, masih terdapat sedikit sisa aluminium yang tidak bereaksi yaitu sebesar 0,86%.

**Tabel 4.5** Komposisi Unsur Penyusun rGO dengan Massa Aluminium 0,5 gram

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	69.93	76.35
<i>OK</i>	27.09	22.20
<i>AIK</i>	02.99	01.45

Berdasarkan Tabel 4.5, dapat diketahui persentase komposisi unsur penyusun rGO adalah atom karbon sebesar 76,35% dan atom oksigen 24,45%. Didapatkan nilai rasio C/O untuk rGO dengan massa aluminium 0,5 gram adalah 3,44. Terjadi peningkatan kualitas rGO hasil reduksi menggunakan 0,5 gram aluminium ditunjukkan oleh adanya peningkatan jumlah % atom C. Namun, masih terdapat sisa aluminium sebesar 1,45%.

**Tabel 4.6** Komposisi Unsur Penyusun rGO dengan Massa Aluminium 0,75 gram

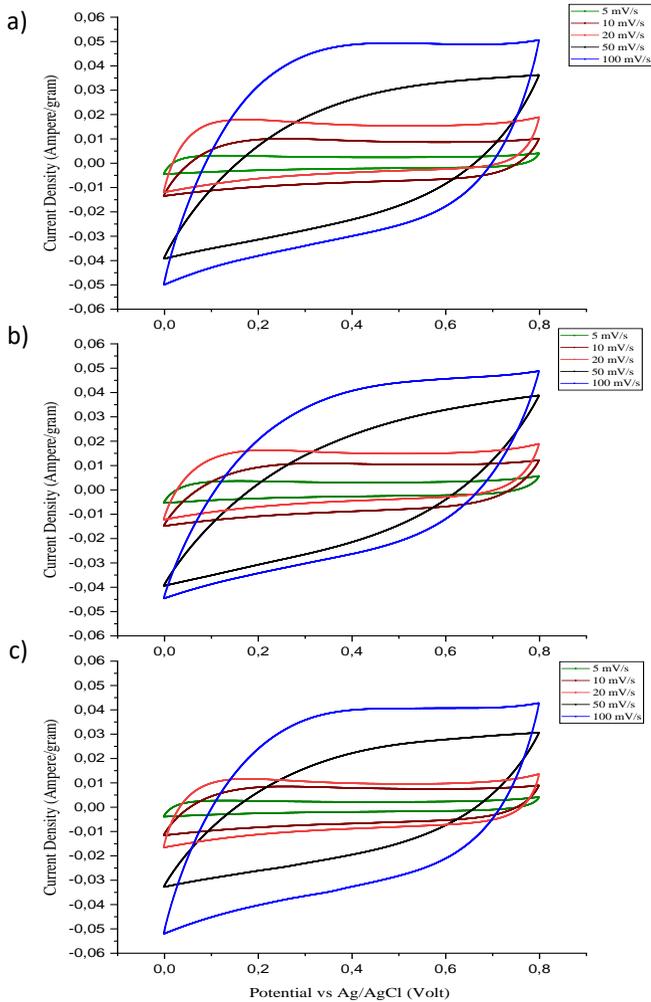
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	71.12	77.23
<i>OK</i>	26.56	21.66
<i>AIK</i>	02.32	01.12

Hasil EDS sintesis rGO dengan massa aluminium 0,75 gram ditunjukkan Tabel 4.6. Dapat diketahui nilai persentase komposisi unsur penyusun rGO adalah atom karbon sebesar 77,23% dan atom oksigen 21,66%. Didapatkan nilai rasio C/O untuk rGO dengan massa aluminium 0,75 gram adalah 3,56. Aluminium yang tersisa sebesar 1,12%. Dari hasil yang didapatkan, semakin tinggi massa reduktor aluminium maka akan meningkatkan % atom C di dalam *reduced graphene oxide* (rGO).

---

#### 4.5 Hasil Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV)

Pengujian *Cyclic Voltammetry* digunakan untuk mengetahui nilai kapasitansi dari elektroda EDLC yang terbuat dari material *reduced graphene oxide*. Pengujian yang dilakukan dengan mendepositkan *reduced graphene oxide* ke dalam *Nickel Foam* yang bertindak sebagai *current collector*. Pengujian dilakukan dalam larutan elektrolit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1 M dengan rentang *potential window* dari 0 volt sampai 0.8 volt. Pengujian dilakukan menggunakan 3 *set up electrode* dimana elektroda referensi menggunakan Ag/AgCl dan *counter electrode* menggunakan grafit.



**Gambar 4.9** Perbandingan Hasil Uji CV Elektroda rGO dengan Variasi Massa Aluminium (a) 0,25 gram (b) 0,5 gram (c) 0,75 gram

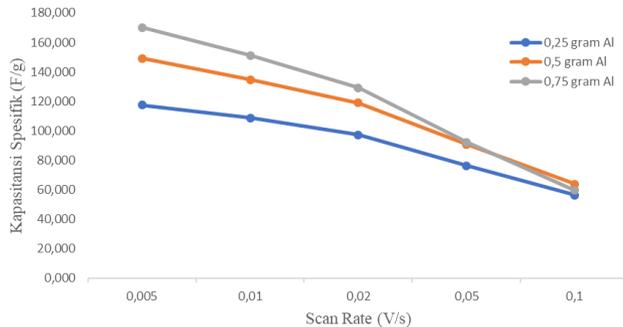
Berdasarkan Gambar 4.9, ketiga kurva hasil pengujian CV memiliki karakteristik bentuk yang hampir sama yaitu berbentuk mendekati *rectangular* yang mengindikasikan bahwa superkapasitor yang dibuat adalah superkapasitor EDLC ideal.

**Tabel 4.7** Hasil Pengujian CV Elektroda *Nickel Foam-rGO*

Massa reduktor Al (gram)	Cyclic Voltammetry				
	Scan Rate (V/s)	Area I vs E (J idV)	Kapasitansi Spesifik (F/g)	Energi Spesifik (Wh/kg)	Daya Spesifik (W/kg)
0,25	0,005	0,00235	117,500	10,4484	235,088
	0,01	0,0043545	108,863	9,67964	435,584
	0,02	0,0077759	97,199	8,64356	777,92
	0,05	0,015298	76,490	6,80178	1530,4
	0,1	0,022529	56,322	5,00871	2253,92
0,5	0,005	0,0029813	149,065	13,2544	298,224
	0,01	0,0053912	134,780	11,984	539,28
	0,02	0,009516	118,950	10,5781	952,032
	0,05	0,018148	90,740	8,06933	1815,6
	0,1	0,025523	63,807	5,67467	2553,6
0,75	0,005	0,0034042	170,210	15,1349	340,536
	0,01	0,0060498	151,245	13,4492	605,216
	0,02	0,010332	129,150	11,4848	1033,63
	0,05	0,01845	92,250	8,20302	1845,68
	0,1	0,02391	59,775	5,31591	2392,16

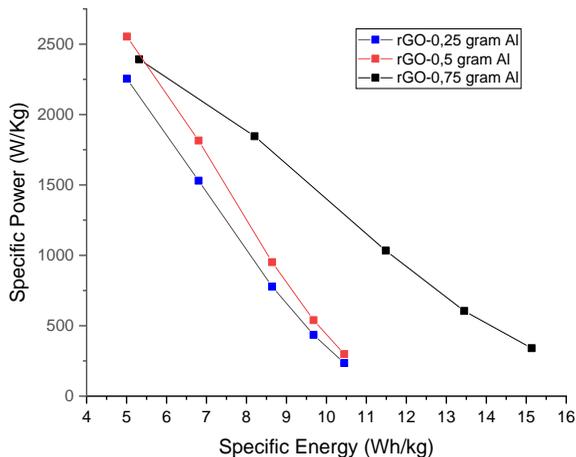
Berdasarkan Tabel 4.7, nilai kapasitansi dari yang terbesar menuju terkecil berturut-turut adalah saat penambahan 0,75 gram aluminium dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 170,21 F/g pada *scan rate* 0,005 V/s, penambahan 0,5 gram aluminium dengan

nilai kapasitansi spesifik sebesar 149,064 F/g pada *scan rate* 0,005 V/s, dan nilai kapasitansi terkecil adalah saat penambahan 0,25 gram aluminium dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 117,5 F/g pada *scan rate* 0,005 V/s. Pemberian *scan rate* yang berbeda-beda bertujuan untuk mengetahui pengaruh *scan rate* terhadap nilai kapasitansi spesifik serta bentuk kurva CV yang didapatkan. *Scan rate* sangat mempengaruhi bentuk kurva dan nilai kapasitansi spesifik. Nilai kapasitansi spesifik meningkat seiring dengan penurunan *scan rate*. Hal ini dikarenakan pada *scan rate* yang rendah, maka ion memiliki cukup waktu untuk dapat menjangkau lebih dalam dari bagian material, sehingga lebih banyak luas permukaan aktif yang dihasilkan, sehingga menyebabkan nilai kapasitansi nya meningkat. Pada *scan rate* yang rendah, bentuk kurva CV berbentuk *rectangular*. Hal ini menunjukkan bahwa respons elektroda terhadap pengisian dan pemakaian sangat reversibel. Namun, pada *scan rate* yang lebih tinggi bentuk kurva CV menyimpang dari bentuk *rectangular* (Daragmeh dkk, 2017). Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya *scan rate*, puncak katodik dan anodik bergeser ke potensial yang lebih rendah dan lebih tinggi. Pergeseran ini disebabkan oleh polarisasi elektroda (Guoshen dkk, 2019). Dengan mem-plot data *scan rate* dan nilai kapasitansi dengan bentuk grafik ulang disajikan pada Gambar 4.10 dibawah kita dapat mengamati *trend* pengaruh *scan rate* terhadap nilai kapasitansi spesifik.

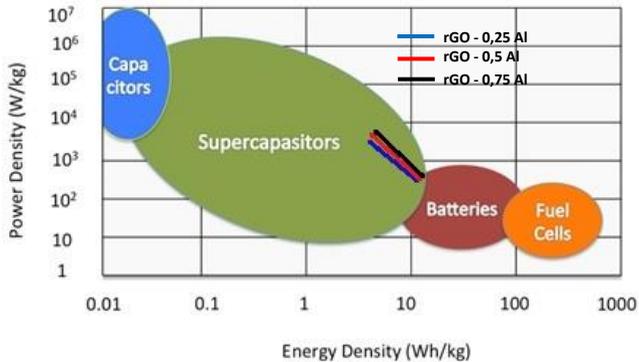


**Gambar 4.10** Pengaruh *Scan Rate* terhadap Nilai Kapasitansi Elektroda Uji

Selain perhitungan kapasitansi spesifik kita juga dapat menentukan *specific energy* dan *specific power* untuk mengetahui apakah nilai kapasitansi yang diperoleh dapat dimasukkan ke dalam *Electrochemical capacitor/superkapasitor* dengan membandingkannya ke dalam sketsa plot ragone pada Gambar 4.12.



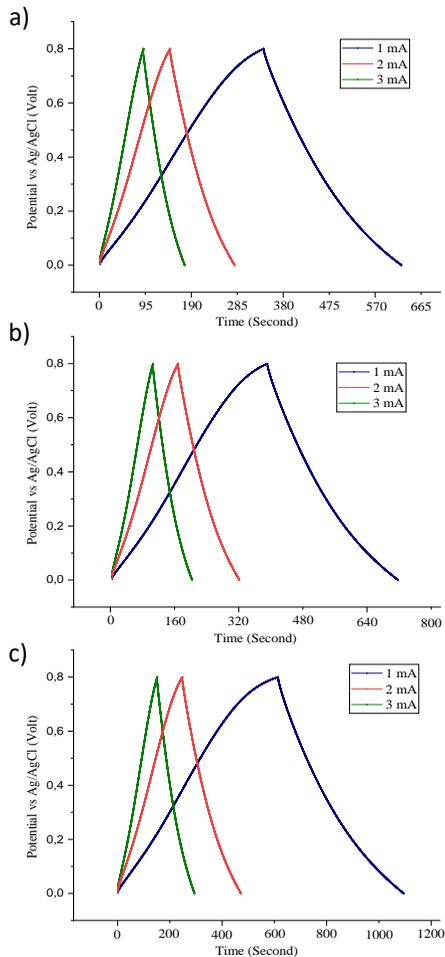
**Gambar 4.11** Hubungan *Specific Energy* dan *Specific Power*



**Gambar 4.12** Plot *Ragone* Hasil Variasi Massa Reduktor Aluminium

#### 4.6 Hasil Pengujian Galvanostat *Charge-Discharge*

Pengujian *charge-discharge* dilakukan di dalam larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1 M pada rentang potensial 0 Volt – 0.8 Volt. Kurva *charge discharge* secara umum mempunyai dua perilaku, yaitu berbentuk segitiga simetris atau tidak simetris. Simetris menunjukkan waktu charge dan discharge nya sama. Sedangkan tidak simetris menunjukkan waktu charge yang lebih lama dari waktu discharge, atau sebaliknya.



**Gambar 4.13** Kurva *Charge Discharge* pada Elektroda rGO dengan Massa Reduktor Aluminium a) 0,25 gram b) 0,5 gram c) 0,75 gram

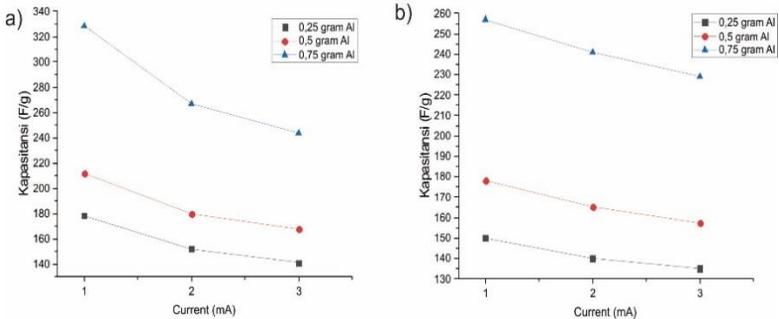
Berdasarkan Gambar 4.13 memperlihatkan cuplikan dari salah satu siklus pengisian-pengosongan muatan. Berdasarkan

Gambar 4.13 ditunjukkan bahwa rGO yang didepositkan pada *nickel foam* dapat bekerja sebagai superkapasitor. Kurva *charge discharge* tersebut memperlihatkan karakteristik penyimpanan dan pengosongan muatan yang berbentuk segitiga. Bentuk kurva tersebut menunjukkan model divais superkapasitor dapat melakukan pengisian muatan dan pengosongan muatan dan bersifat reversibel. Namun, terjadi *IR drop* pada proses permulaan proses *discharging*, hal ini menunjukkan hilangnya energi akibat resistansi DC internal dan juga akibat arus listrik *discharge* yang mengalir besar (Najafabadi dkk, 2010).

**Tabel 4.8** Hasil *Charge-Discharge* Elektroda rGO-Nickel Foam

Massa Al (gram)	Galvanostatic Charging/Discharging (GCD)						
	Charge Current (mA)	Discharge Current (mA)	t Charge (s)	t Discharge (s)	Cs Charge (F/g)	Cs Discharge (F/g)	Efisiensi (%)
0,25	1	1	357	300	178,5	150	84
	2	2	152	140	152	140	92
	3	3	94	90	141	135	95
0,5	1	1	423	356	211,5	178	84
	2	2	180	165	180	165	92
	3	3	112	105	168	157,5	94
0,75	1	1	656,2	514	328,1	257	78
	2	2	266,5	241	266,5	241	90
	3	3	162,2	152,7	243,3	229,05	94

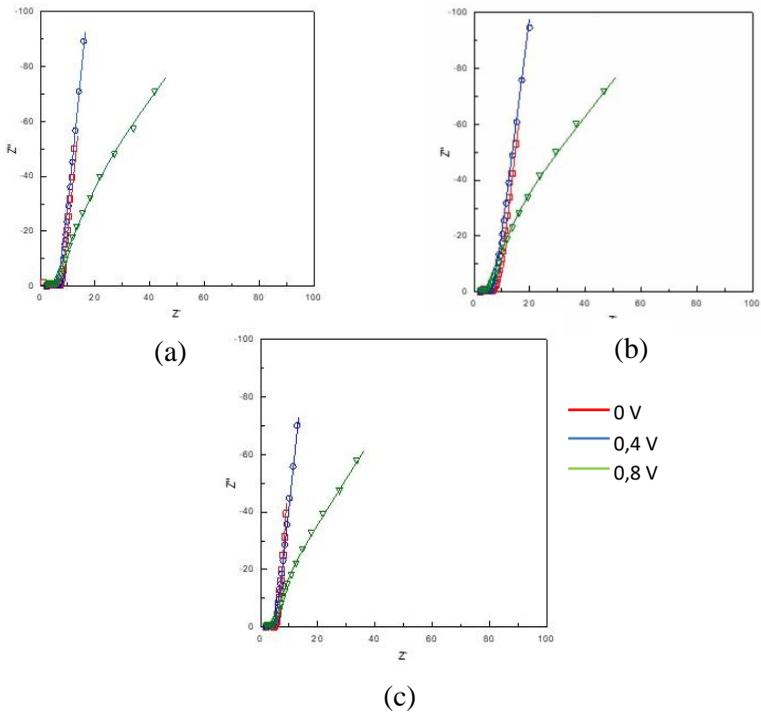
Pada Tabel 4.8 ditunjukkan hasil pengujian dari *charge-discharge*. Waktu *charging* tertinggi adalah pada penambahan 0,75 gram pada arus pengisian 1mA yaitu sebesar 656,2 sekon dan terendah pada penambahan 0,25 gram pada arus pengisian 3mA dengan waktu *charging* sebesar 94 sekon. Hubungan antara kapasitansi dan arus *charging-discharging* ditunjukkan oleh Gambar 4.14.



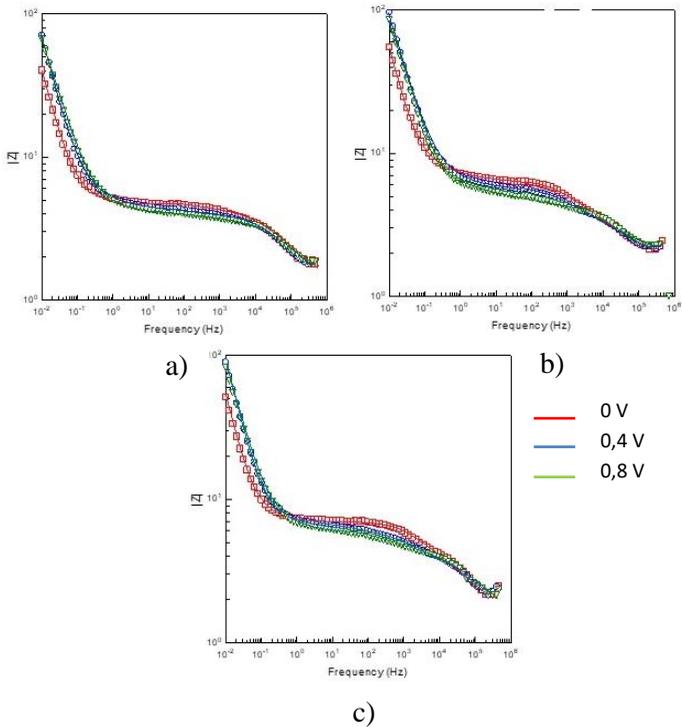
**Gambar 4.14** Hubungan antara Kapasitansi dengan (a) *Charge* dan (b) *Discharge*

#### 4.7 Hasil Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*

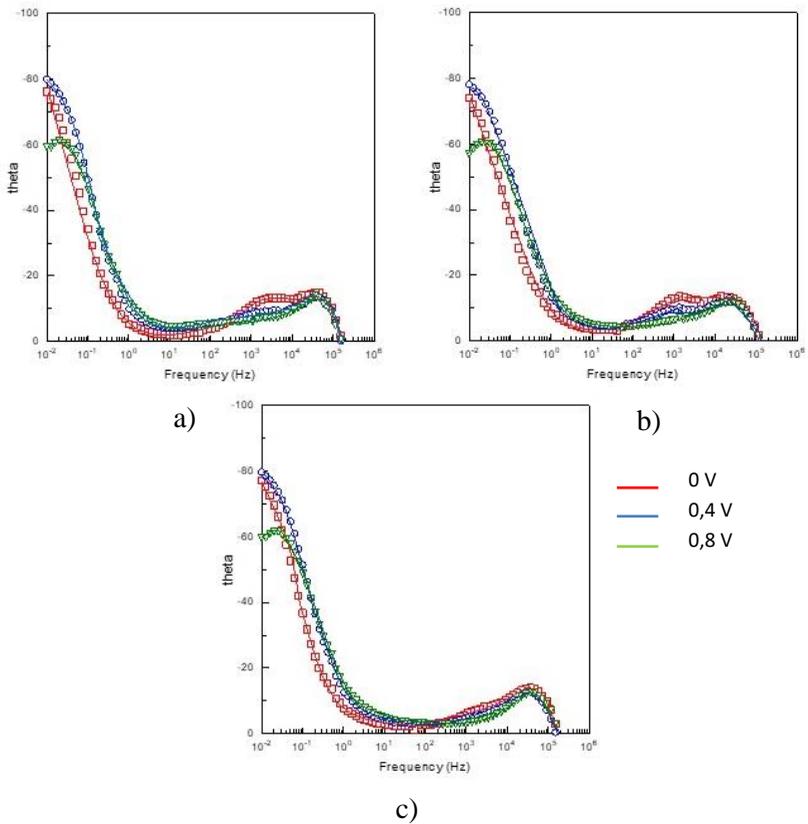
Pengujian EIS bertujuan untuk mengetahui sifat kapasitif dari material. Pengujian ini menggunakan alat CorrTest dan elektrolit yang digunakan adalah  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1M. Hasil pengujian EIS dinyatakan sebagai plot Nyquist pada rentang frekuensi  $10^{-2}$  hingga  $10^6$  Hz dengan tegangan 0 – 0.8 Volt. Dari pengujian ini didapatkan data utama berupa kurva Nyquist, plot bode  $|Z|$  dan plot bode  $[C]$ . Hasil plot Nyquist ditunjukkan oleh Gambar 4.15.



**Gambar 4.15** Bentuk Plot Nyquist pada rGO dengan Massa Reduktor (a) 0,25 gram (b) 0,5 gram dan (c) 0,75 gram.



**Gambar 4.16** Plot Bode  $|Z|$  pada rGO dengan Massa Reduktor (a) 0,25 gram (b) 0,5 gram dan (c) 0,75 gram.



**Gambar 4.17** Plot Bode [C] pada rGO dengan Massa Reduktor (a) 0,25 gram (b) 0,5 gram dan (c) 0,75 gram.

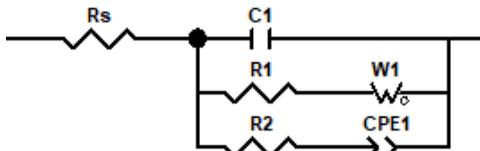
Hasil pengujian EIS direpresentasikan dalam plot nyquist yang menjelaskan hubungan antara impedansi real ( $Z_{\text{real}}$ ) dan impedansi imajiner ( $Z_{\text{im}}$ ). Dalam plot nyquist terdapat pola garis lurus (*straight line*) merepresentasikan proses difusi ion ke dalam *bulk* material elektroda. Pola ini digunakan sebagai acuan dari kemampuan superkapasitor dalam menyimpan muatan. Titik awal pola semi circle merupakan hambatan elektrolit ( $R_e$ ). Semakin tegak garis lurus (mendekati  $90^\circ$ ) maka semakin baik pula konduktivitas listriknya. Berdasarkan Gambar 4.15, ketiga sampel rGO menunjukkan plot Nyquist yang cenderung tegak lurus mendekati  $90^\circ$  yang mengindikasikan bahwa ketiganya memiliki sifat kapasitif yang bagus. Namun, pada penambahan 0,75 gram aluminium menunjukkan pola yang paling tegak dibandingkan dengan yang lain serta, pada penambahan 0,25 gram menunjukkan pola yang sedikit miring dibandingkan dengan rGO dengan massa reduktor 0,5 gram dan 0,75 gram. Kemudian, untuk hasil pengujian EIS pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 ditunjukkan pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Hasil Pengujian EIS

Sampel	DC potensial	Freq (Hz)	$Z'$ (ohm)	$Z''$ (ohm)	$ Z $ (ohm)	C(F/g)
rGO- 0,25 gram Al	0	0,010012	11,618	-40,746	42,37	156,13
	0,4	0,010012	15,362	-72,712	74,317	87,49
	0,8	0,010012	35,902	-55,183	65,834	115,28
rGO- 0,5 gram Al	0	0,010012	8,9206	-37,767	38,806	168,44
	0,4	0,010012	12,253	-69,457	70,53	91,59
	0,8	0,010012	31,254	-57,642	65,57	110,36
rGO- 0,75 gram Al	0	0,010012	8,2823	-33,294	34,309	191,07
	0,4	0,010012	10,586	-59,38	60,316	107,13
	0,8	0,010012	27,895	-47,095	54,736	135,08

Pada Tabel 4.9 ditunjukkan hasil pengujian EIS, dapat diketahui bahwa nilai impedansi rill yang paling tinggi dimiliki oleh elektroda dengan variasi massa reduktor 0,75 gram Al. Untuk impedansi imajiner yang paling tinggi dimiliki oleh elektroda dengan variasi massa reduktor 0,25 gram Al. Untuk nilai  $|Z|$  yang paling tinggi dimiliki oleh elektroda dengan variasi massa reduktor 0,25 gram Al. Hal ini menunjukkan bahwa nilai impedansi tertinggi dimiliki oleh 0,25 gram Al. Selain itu, melalui pengujian EIS juga dapat dihitung nilai kapasitansi dengan menggunakan Persamaan 3.7. Nilai kapasitansi tertinggi dimiliki oleh elektroda dengan variasi massa reduktor 0,75 gram Al.

Untuk menganalisa data EIS yang didapatkan dari pengujian maka dilakukan *fitting* pada *equivalent circuit*. Dengan *fitting equivalent circuit* tersebut dapat dianalisis hubungan antara struktur dan sifat kapasitifnya. *Equivalent Circuit* yang digunakan menggunakan kombinasi paralel dari sirkuit Randles. (Susanti,2007).



**Gambar 4.18** *Equivalent Circuit* yang Digunakan pada *Fitting* Hasil EIS

Berdasarkan Gambar 4.18 menunjukkan sirkuit yang digunakan pada fitting EIS.  $R_s$  adalah hambatan yang disebabkan oleh larutan yang terjadi antara elektroda referensi dan elektroda kerja,  $C_1$  adalah kapasitansi yang muncul pada permukaan elektroda.  $R_1$  adalah hambatan yang terjadi saat transfer muatan dari elektrolit ke elektroda kerja. Sebuah sirkuit  $R_2$   $CPE_1$  ditambahkan untuk memperhitungkan frekuensi ketergantungan dalam rentang frekuensi rendah.  $CPE_1$  adalah konstanta elemen fase yang mewakili kapasitansi tergantung frekuensi.  $R_2$

menunjukkan resistensi terkait dengan tautan listrik pada CPE1. Serta impedansi Warburg ( $W$ ) pada kemiringan garis  $45^\circ$  yang menunjukkan adanya difusi ion pada permukaan elektroda (Susanti, 2007).

**Tabel 4.10** Nilai Resistansi Hasil *Fitting* pada *Equivalent Circuit*

Sampel	DC potensial	C1 ( $10^{-5}$ F)	R1 ( $\Omega$ )	Resistivitas (m $\Omega$ )	Konduktivitas (S/m)
rGO-0,25 gram Al	0	0,21	3,107	0,031	32,176
	0,4	1,21	3,72	0,037	26,878
	0,8	0,16	12,941	0,129	7,727
rGO-0,5 gram Al	0	0,50	3,039	0,030	32,9
	0,4	1,7	2,109	0,021	47,413
	0,8	0,56	2,193	0,021	45,592
rGO-0,75 gram Al	0	02,13	1,866	0,018	53,583
	0,4	19,73	1,190	0,012	84,005
	0,8	0,76	1,576	0,015	63,435

Berdasarkan Tabel 4.10 ditunjukkan hasil *fitting* menggunakan *equivalent circuit*. Dari tabel dapat diketahui bahwa R1 (resistansi elektroda) yang terbesar dimiliki oleh elektroda dengan variasi massa reduktor 0,25 gram Al. Setelah itu, dilakukan konversi ke nilai resistivitas dan konduktivitas maka elektroda yang memiliki resistivitas dan konduktivitas yang paling baik adalah elektroda dengan variasi massa reduktor 0,75 gram. Dapat diketahui juga bahwa nilai C1 (kapasitansi yang muncul pada permukaan elektroda) yang paling tinggi dimiliki oleh elektroda dengan variasi massa 0,75 gram Al. Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa sifat kapasitif yang paling baik dimiliki oleh elektroda dengan variasi massa 0,75 gram Al.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pada penambahan reduktor aluminium dengan variasi massa 0,25 gram, 0,5 gram dan 0,75 gram, ketiganya menunjukkan adanya perbedaan struktur dan morfologi pada pengujian XRD dan SEM. Semakin bertambahnya massa reduktor aluminium yang ditambahkan maka intensitasnya akan semakin tinggi, maka akibatnya struktur cenderung lebih kristalin (teratur) dan morfologi yang ditunjukkan semakin lebar dan tipis.
2. Pada penambahan massa reduktor aluminium mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik dari *reduced graphene oxide*. Semakin bertambahnya massa aluminium yang ditambahkan maka nilai kapasitansinya juga semakin meningkat. Pada penambahan 0,75 gram aluminium merupakan hasil yang paling optimal, karena didapatkan nilai kapasitansi yang tertinggi yaitu 170,21 F/g.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengujian *Cycleability* untuk mengetahui kestabilan performa dari elektroda EDLC akibat adanya proses *charging* dan *discharging* yang berulang.
2. Melakukan pengujian *Bruner Emmet Teller* (BET) untuk mengetahui besar luas permukaan aktif pada sampel.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Mikrajuddin, Yudistira Virgus, dan Khairurrijal. 2008. *Sintesis Nanomaterial*. Bandung: Laboratorium Sintesis dan Fungsionalisasi Nanomaterial ITB.
- Agrawal, R., Chen, C., Dages, S., & Wang, C. 2016. *Lithium-Ion Capacitor Based on Electrodes Constructed Via Electrostatic Spray Deposition*. *ECS Transactions*, 72(8), 45–53.
- Alazmi, A., Rasul, S., Patole, S.P., Costa, P.M.F.J. 2016. *Comparative Study of Synthesis and Reduction Methods for Graphene Oxide*. POLYHEDRON The International Journal for Research In Organic Chemistry.
- Alagarasi, A. 2011. *Introduction to Nanomaterials*. Chennai: Indian Institute of Technology.
- Akinwolemiwa, B., Peng, C., & Chen, G. Z. 2015. *Redox Electrolytes in Supercapacitors*. *Journal of the Electrochemical Society*, 162(5), A5054–A5059.
- Badan Pusat Statistik Jakarta Pusat . 2016. *Konsumsi Listrik per Kapita, 2009 - 2016*. Jakarta Pusat : Badan Pusat Statistik.
- Chhowalla, dkk. 2009. *Blue Photoluminescence from Chemically Derived Graphene Oxide*. *The Journal of Physical Chemistry* 22.4.505.
- Chua, C. K., & Pumera, M. 2014. *Chemical Reduction of Graphene Oxide: a Synthetic Chemistry Viewpoint*. *Chem. Soc. Rev.*, 43(1), 291–312.
- Daraghme, A., Hussain, S., Saadeddin, I., Servera, L., Xuriguera, E., Cornet, A., & Cirera, A. 2017. *A Study of Carbon Nanofibers and Active Carbon as Symmetric Supercapacitor in Aqueous Electrolyte: A Comparative Study*. *Nanoscale Research Letters*, 12(1).
- Dean JA. 1999. *Lange's Handbook of Chemistry*. 15th ed. New York: McGraw-Hill Book Company; 1999. p. 741–70.

- 
- Drewniak, S. E., Pustelny, T. P., Muzyka, R., & Plis, A. 2015. *Studies of Physicochemical Properties of Graphite Oxide and Thermally Exfoliated/Reduced Graphene Oxide*. *Polish Journal of Chemical Technology*, 17(4), 109–114.
- Fan, Z., Wang, K., Wei, T., Yan, J., Song, L., & Shao, B. 2010. *An Environmentally Friendly and Efficient Route For The Reduction of Graphene Oxide by Aluminum Powder*. *Carbon*, 48(5), 1686–1689.
- G. Reina, J.M. González-Domínguez, A. Criado, E. Vázquez, A. Bianco, M. Prato. 2017. *Promises, Facts and Challenges for Graphene in Biomedical Applications*. *Chem. Soc. Rev.* 46(15), 4400–4416.
- G. Shim, M.-G. Kim, J.Y. Park, Y.-K. 2016. *Graphene-based Nanosheets for Delivery of Chemotherapeutics and Biological Drugs*. *Adv. Drug Deliver. Rev.* 105, 205–227.
- Helmholtz, H. V. 1853. *On Some Laws of the Distribution of Electrical Currents in Material Conductors with Application to Experiments in Animal Electricity*. *Ann. Phys. (Leipzig)*, 89; 21.
- Hong, X., Chung, D.D.L. 2015. *Exfoliated Graphite with Relative Dielectric Constant Reaching 360, Obtained by Exfoliation of Acid-Intercalated Graphite Flakes Without Subsequent Removal of the Residual Acidity*. *Carbon* 91:1–10.
- Huo, P., Zhao, P., Wang, Y., Liu, B., Yin, G., & Dong, M. 2018. *A Roadmap for Achieving Sustainable Energy Conversion and Storage: Graphene-Based Composites Used Both as an Electrocatalyst for Oxygen Reduction Reactions and an Electrode Material for a Supercapacitor*. *Energies*, 11(1), 167.
- Izadi-Najafabadi, A., Yasuda, S., Kobashi, K., Yamada, T., Futaba, D. N., Hatori, H., Hata, K. 2010. *Extracting the Full Potential of Single-Walled Carbon Nanotubes as Durable Supercapacitor Electrodes Operable at 4 V with*
-

- High Power and Energy Density*. *Advanced Materials*, 22(35), E235–E241
- Johra, F. T., Lee, J.-W., & Jung, W.-G. 2014. *Facile and Safe Graphene Preparation on Solution Based Platform*. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(5), 2883–2887.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. **Making Indonesia 4.0**. Jakarta, 2018.
- Kim H, Abdala AA, MacOsco CW. 2010. **Graphene/Polymer Nanocomposites**. *Macromolecules* 2010;43:6515-30.
- Li D, Muller MB, Gilje S, Kaner RB, Wallace GG. 2008. *Processable Aqueous Dispersions of Graphene Nanosheets*. *Nat Nanotechnol* 2008;3(2):101–5.
- Libich, J., Máca, J., Vondrák, J., Čech, O., & Sedlaříková, M. 2018. *Supercapacitors: Properties and applications*. *Journal of Energy Storage*, 17, 224–227.
- Liu, C., Yu, Z., Neff, D., Zhamu, A., & Jang, B. Z. 2010. *Graphene-Based Supercapacitor with an Ultrahigh Energy Density*. *Nano Letters*, 10(12), 4863–4868.
- Luo, L., Peng, T., Yuan, M., Sun, H., Dai, S., & Wang, L. 2018. *Preparation of Graphite Oxide Containing Different Oxygen-Containing Functional Groups and the Study of Ammonia Gas Sensitivity*. *Sensors*, 18(11), 3745
- M. Winter dan R. J. Brodd. 2004. *What Are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors?*. *Chem. Rev.* 104, 4245. Madras.
- Making Indonesia 4.0: Strategi RI Masuki Revolusi Industri K-4, <<http://www.kemenperin.go.id/artikel/18967/MakingIndonesia-4.0:-Strategi-RIMasuki-Revolusi-Industri-Ke-4>>
- Neto, A.H.C. 2009. *The Electronic Properties of Graphene*. *Reviews of Modern Physics*, VOLUME 81.
- Novoselov, K.S., Geim, A.K., dkk. 2004. *Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films*. *Science* Vol.306, 666.
- Oktiana, L. P. 2016. *Pengaruh Jumlah Lilitan Solenoida Elektrolisator Terhadap Absorbansi Optik Graphene*

- 
- Oxide (GO) yang Disintesis dari Bahan Pensil 2B.***  
Yogyakarta: Program Studi Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Raji, M., Zari, N., el kacem Qaiss, A., & Bouhfid, R. 2019. ***Chemical Preparation and Functionalization Techniques of Graphene and Graphene Oxide. Functionalized Graphene Nanocomposites and Their Derivatives, 1–20.***
- Rao, C. N. R., & Cheetam, A. K. 2006. ***Nanomaterial Handbooks: Materials Science at The Nanoscale.*** New York: CRC Press.
- Republik Indonesia, Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 148 / MISK / 1985 tentang Pengamanan Bahan Beracun dan Berbahaya di Perusahaan Industri.
- Schniepp. 2006. ***Functionalized Singel Graphene Sheets Derived from Splitting Graphene Oxide.*** The Journal of Physical Chemistry 4.110.06.
- Sharma, P., Bhatti, T.S. 2010. ***A Review on Electrochemical Double-Layer Capacitors.*** Energy Convers. Manag. 51, 2901–2912.
- Si Y, Samulski ET. 2008. ***Synthesis of Water Soluble Graphene.*** Nano Lett 2008;8(6):1679–82.
- Stankovich S, Dikin DA, Piner RD, Kohlhaas KA, Kleinhammes A, Jia Y. 2007. ***Synthesis of Graphene-Based Nanosheets Via Chemical Reduction of Exfoliated Graphite Oxide.*** Carbon 2007;45(7):1558–65.
- Strankowski, M., Włodarczyk, D., Piszczyk, Ł., & Strankowska, J. 2016. ***Polyurethane Nanocomposites Containing Reduced Graphene Oxide, FTIR, Raman, and XRD Studies.*** Journal of Spectroscopy, 2016, 1–6.
- Vasile, V.N. and Obreja. 2008. ***On The Performance of Supercapacitors with Electrodes Based on Carbon Nanotubes and Carbon Activated Material—A review.*** Physica E, 40; 2596–2605.
-

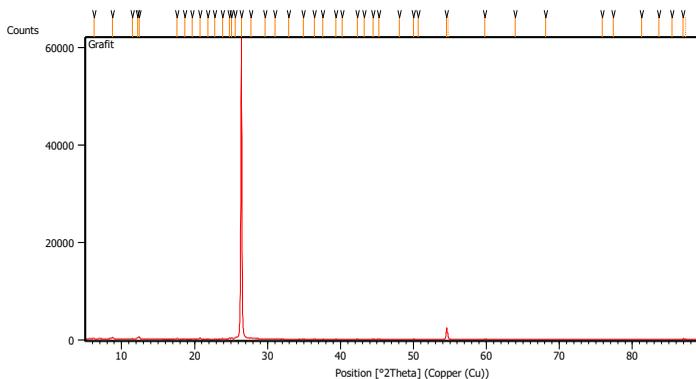
- W. Gao, L.B. Alemany, L. Ci, P.M. Ajayan. 2009. *New Insights into The Structure and Reduction of Graphite Oxide*. Nat. Chem. 1 403–408.
- Wan, D., Yang, C., Lin, T., Tang, Y., Zhou, M., Zhong, Y., Lin, J. 2012. *Low-Temperature Aluminum Reduction of Graphene Oxide, Electrical Properties, Surface Wettability, and Energy Storage Applications*. ACS Nano, 6(10), 9068–9078.
- Wang GX, Yang J, Park J, Gou XL, Wang B, Liu H, et al. 2008. *Facile Synthesis and Characterization of Graphene Nanosheets*. J Phys Chem C 2008;112(22):8192–5.
- Wang, G., Zhang, L., Zhang, J. 2012. *A Review of Electrode Materials for Electrochemical Supercapacitors*. Chem Soc Rev 41, 797–828.
- Wang, S. J., Geng, Y., Zheng, Q., & Kim, J.-K. 2010. *Fabrication of Highly Conducting and Transparent Graphene Films*. Carbon, 48(6), 1815–1823.
- World Economic Forum. 2018. *The Global Competitiveness Report 2018*, <<http://www3.weforum.org/docs/GCR2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2018.pdf>>
- Wu, Z., Li, L., Yan, J., & Zhang, X. 2017. *Materials Design and System Construction for Conventional and New-Concept Supercapacitors*. Advanced Science, 4(6), 1600382
- Yu XZ, Hwang CG, Jozwiak CM, Kohl A, Schmid AK, Lanzara A. 2011. *New Synthesis Method for The Growth of Epitaxial Graphene*. J Electron Spectrosc Relat Phenom;184(3-6):100-106.
- Yu, H., Zhang, B., Bulin, C., Li, R., & Xing, R. 2016. *High-efficient Synthesis of Graphene Oxide Based on Improved Hummers Method*. Scientific Reports, 6(1).
- Zhang L, Shi Z, Liu D, Yang R, Shi D, Zhang G. 2012. *Vapour-phase Graphene Epitaxy at Low Temperatures*. Nano Res;5:258-64.

- 
- Zhang, L.L. and Zhao, X.S. 2009. *Carbon-based Materials as Supercapacitor Electrode*. *Chemical Society Review*, 38; 2520-2531.
- Zheng, S., Wu, Z.-S., Wang, S., Xiao, H., Zhou, F., Sun, C., Cheng, H.-M. 2017. *Graphene-Based Materials for High-Voltage and High-Energy Asymmetric Supercapacitors*. *Energy Storage Materials*, 6, 70–97.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1: Hasil Pengujian XRD

### a. Grafit

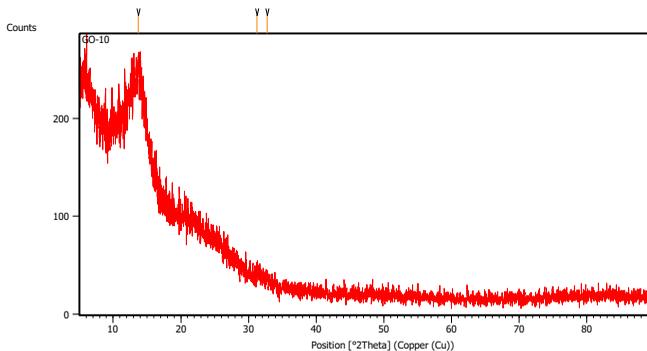


#### Peak list:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.2009	102.12	0.1673	14.25370	0.16
8.7590	348.35	0.0669	10.09582	0.56
11.4458	70.63	0.2676	7.73119	0.11
12.2115	325.08	0.1004	7.24812	0.52
12.4168	458.32	0.1004	7.12872	0.73
17.6199	175.24	0.1338	5.03363	0.28
18.6955	90.42	0.1004	4.74637	0.14
19.6508	44.09	0.2007	4.51775	0.07
20.7368	303.91	0.1004	4.28354	0.48
21.8613	33.18	0.2007	4.06568	0.05
22.7950	36.75	0.2007	3.90122	0.06
23.8233	197.28	0.0836	3.73510	0.31
24.7458	287.83	0.1171	3.59792	0.46
25.0821	338.49	0.1171	3.55043	0.54
25.5882	355.89	0.2007	3.48135	0.57
26.4176	62677.71	0.1673	3.37389	100.00
27.7554	301.62	0.1338	3.21425	0.48
29.6943	135.01	0.2007	3.00863	0.22
31.0268	83.72	0.4015	2.88240	0.13

32.9074	28.35	0.4015	2.72185	0.05
34.8874	91.11	0.1673	2.57178	0.15
36.4011	129.95	0.2007	2.46823	0.21
37.5864	44.18	0.2007	2.39307	0.07
39.3563	78.58	0.1673	2.28944	0.13
40.2373	37.49	0.2676	2.24132	0.06
42.3057	123.36	0.0669	2.13640	0.20
43.2208	40.51	0.2007	2.09327	0.06
44.4487	113.87	0.2342	2.03825	0.18
45.2658	161.32	0.2007	2.00334	0.26
48.0556	11.07	0.8029	1.89336	0.02
50.0216	150.80	0.1171	1.82345	0.24
50.6453	27.85	0.2676	1.80245	0.04
54.5536	2370.46	0.1632	1.68081	3.78
54.7143	1278.83	0.0816	1.68042	2.04
59.8039	132.27	0.1224	1.54518	0.21
63.9297	24.61	0.3264	1.45504	0.04
68.1341	55.21	0.3264	1.37513	0.09
75.8499	13.13	0.9792	1.25327	0.02
77.3953	49.34	0.1632	1.23206	0.08
81.2842	13.54	0.4896	1.18265	0.02
83.6585	51.56	0.4080	1.15502	0.08
85.3969	19.12	0.4896	1.13590	0.03
86.9295	221.70	0.1632	1.11977	0.35
87.2635	132.15	0.0816	1.11912	0.21

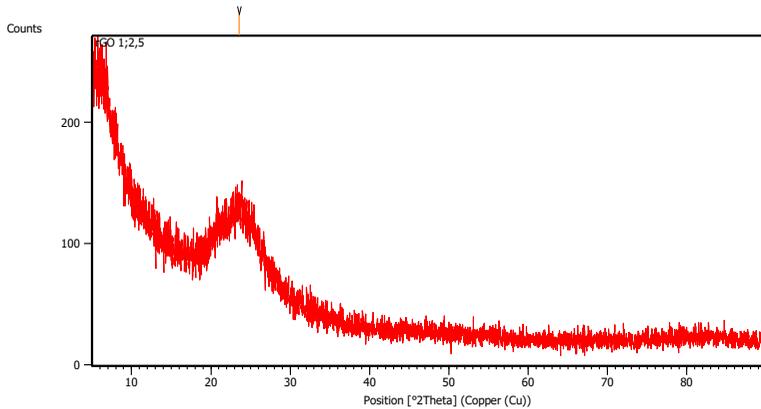
## b. Grafit Oksida



Peak list:

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
13.7329	53.72	0.5353	6.44836	100.00
31.2699	6.57	0.4015	2.86054	12.23
32.7647	6.82	0.2342	2.73338	12.70

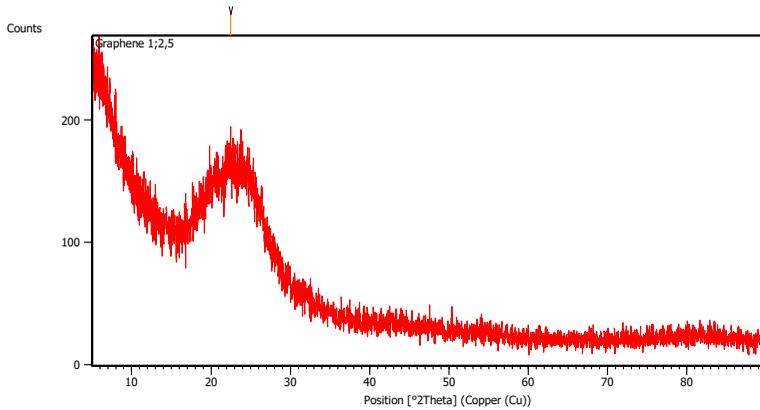
c. rGO – 0,25 gram Al



Peak list:

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
23.5354	58.44	0.0900	3.77702	100.00

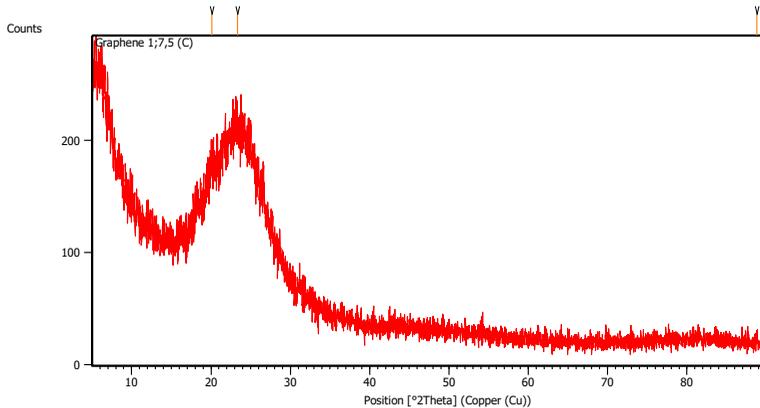
### d. rGO – 0,5 gram Al



#### Peak list:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
22.4522	10.69	0.6528	3.95671	100.00

### e. rGO – 0,75 gram Al

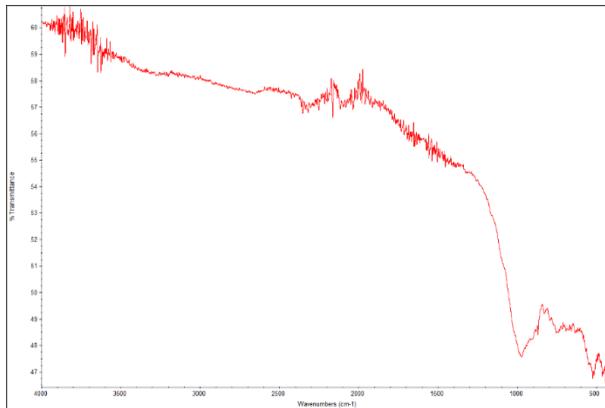


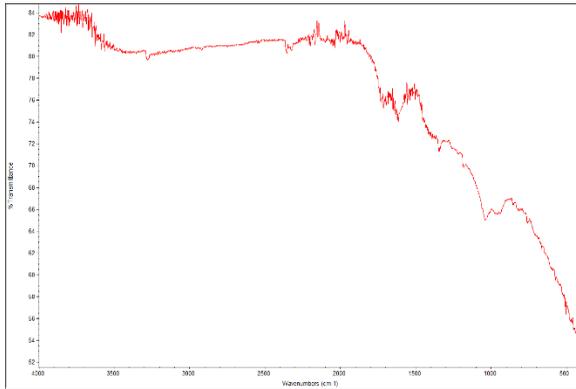
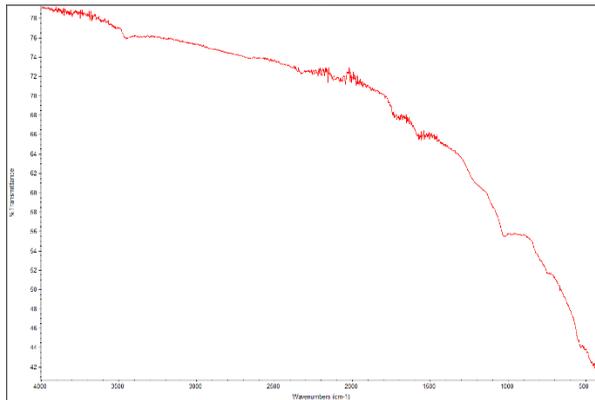
Peak list:

Pos. [ $^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
20.0812	13.65	0.8029	4.42189	78.19
23.3380	17.46	0.9368	3.81166	100.00
88.7970	8.17	0.1673	1.10190	46.79

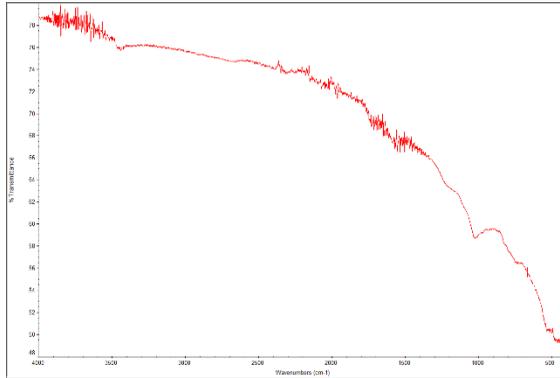
**Lampiran 2: Hasil Pengujian FTIR**

**a. Grafit**

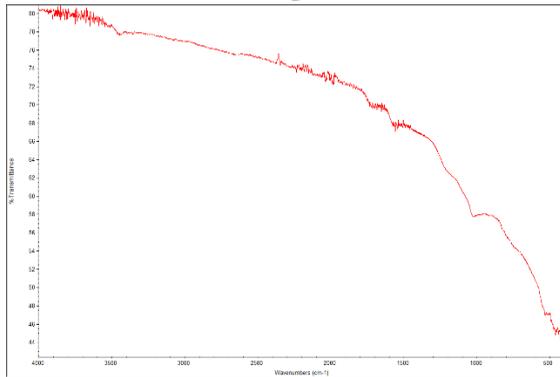


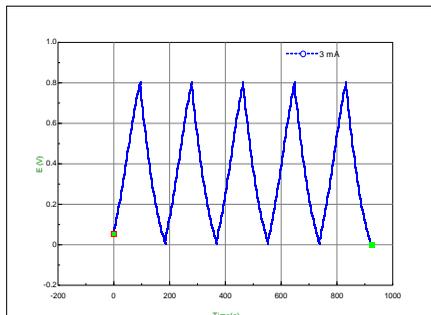
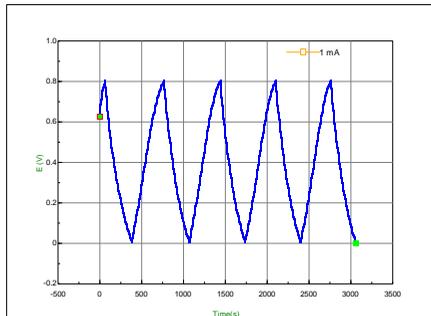
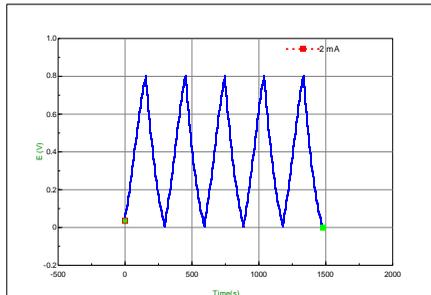
**b. Grafit Oksida****c. rGO-0,25 gram Al**

**d. rGO-0,5 gram Al**

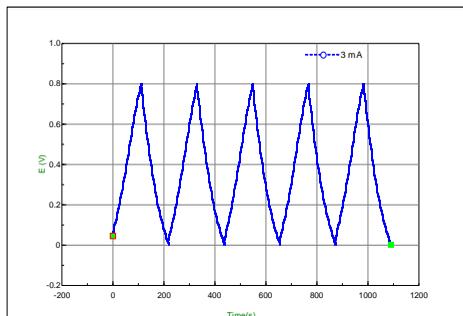
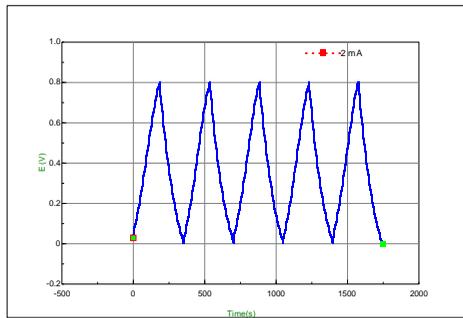
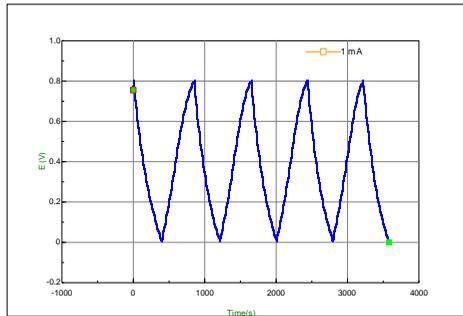


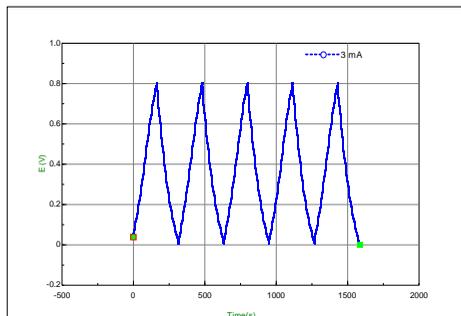
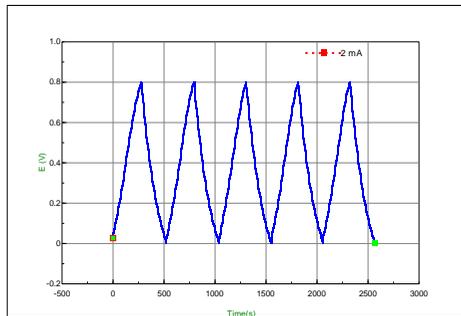
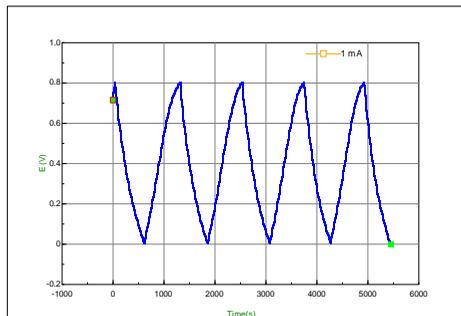
**e. rGO-0,75 gram Al**



**Lampiran 3: Hasil Pengujian Galvanostat *charge-discharge*****a. rGO – 0,25 gram Al 1mA, 2mA, dan 3mA**

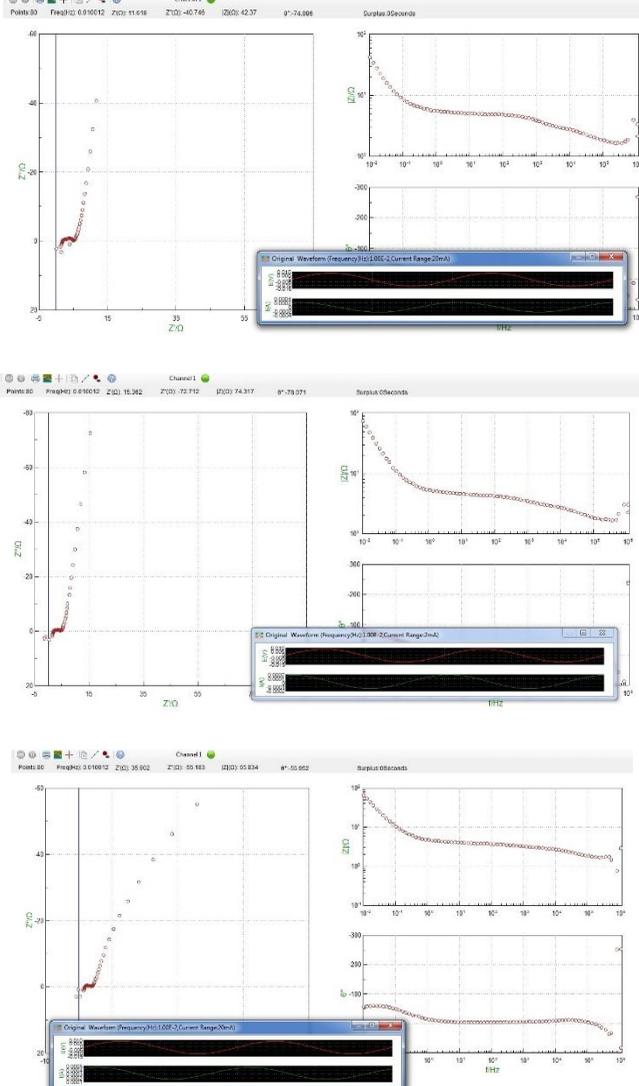
**b. rGO – 0,5 gram Al 1mA, 2mA, dan 3mA**



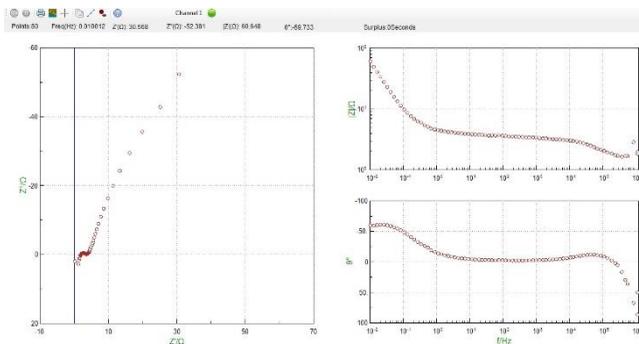
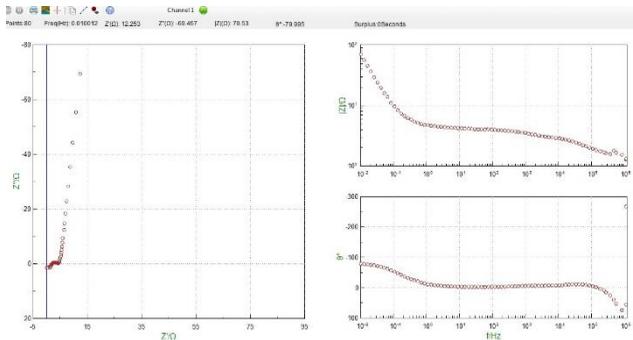
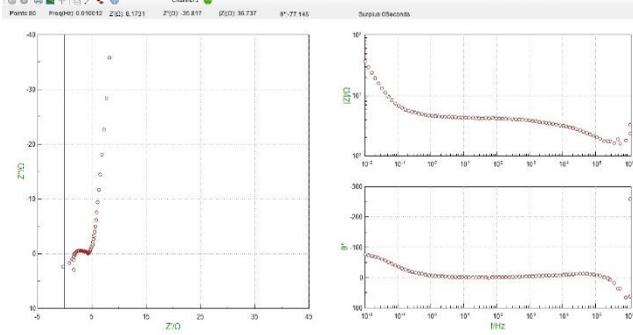
**c. rGO – 0,75 gram Al 1mA, 2mA, dan 3m**

## Lampiran 4: Hasil Pengujian EIS

### a. rGO – 0,25 gram Al DC 0 V, 0,4 V, dan 0,8 V



**b. rGO – 0,5 gram Al DC 0 V, 0.4 V, dan 0.8 V**



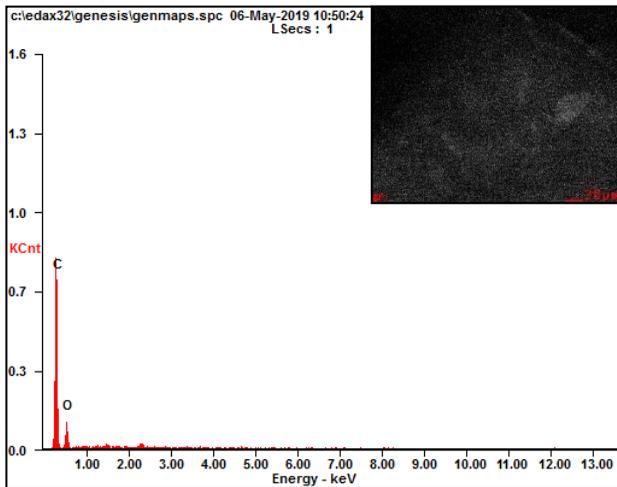


**Lampiran 5: Hasil Perhitungan CV**

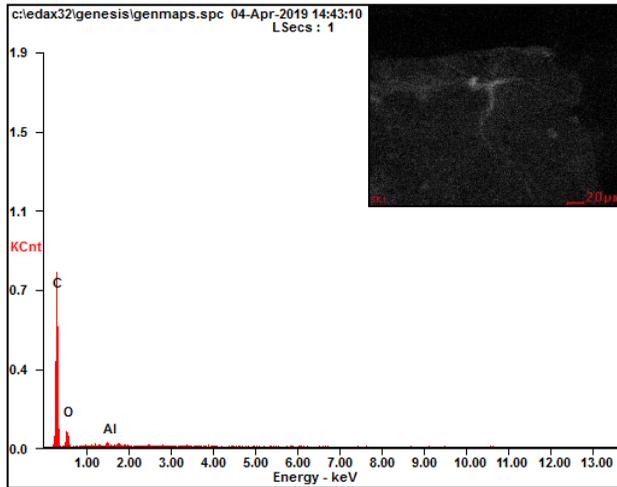
Sampel	Massa Awal (gram)	Massa Akhir (gram)	Massa Deposit (gram)	Potential Window (V) ( $\Delta V$ )	Scan Rate (V/s)	Cycle	Area I vs E (f idV)	C (Farad) from Corrttest	Cs (F/g) $C_s = \frac{C}{m}$	Cs (F/g) $C_s = \frac{C}{m} \cdot \frac{1}{1000}$
0,25 gram Al	0,1743	0,1793	0,0025	0,8	0,005	5	0,00235	0,29386	117,544	117,500
	0,1743	0,1793	0,0025	0,8	0,01	5	0,004355	0,27224	108,896	108,863
	0,1743	0,1793	0,0025	0,8	0,02	5	0,007776	0,2431	97,240	97,199
	0,1743	0,1793	0,0025	0,8	0,05	5	0,015298	0,1913	76,520	76,490
	0,1743	0,1793	0,0025	0,8	0,1	5	0,022529	0,14087	56,348	56,323
0,5 gram Al	0,2145	0,217	0,0025	0,8	0,005	5	0,002981	0,37278	149,112	149,065
	0,2145	0,217	0,0025	0,8	0,01	5	0,005391	0,33705	134,820	134,780
	0,2145	0,217	0,0025	0,8	0,02	5	0,009516	0,29751	119,004	118,950
	0,2145	0,217	0,0025	0,8	0,05	5	0,018148	0,22695	90,780	90,740
0,75 gram Al	0,2201	0,2223	0,0025	0,8	0,005	5	0,003404	0,42567	170,268	170,210
	0,2201	0,2223	0,0025	0,8	0,01	5	0,00605	0,37826	151,304	151,245
	0,2201	0,2223	0,0025	0,8	0,02	5	0,010332	0,32301	129,204	129,150
	0,2201	0,2223	0,0025	0,8	0,05	5	0,01845	0,23071	92,284	92,250
	0,2201	0,2223	0,0025	0,8	0,1	5	0,02391	0,14951	59,804	59,775

**Lampiran 6: Hasil EDX**

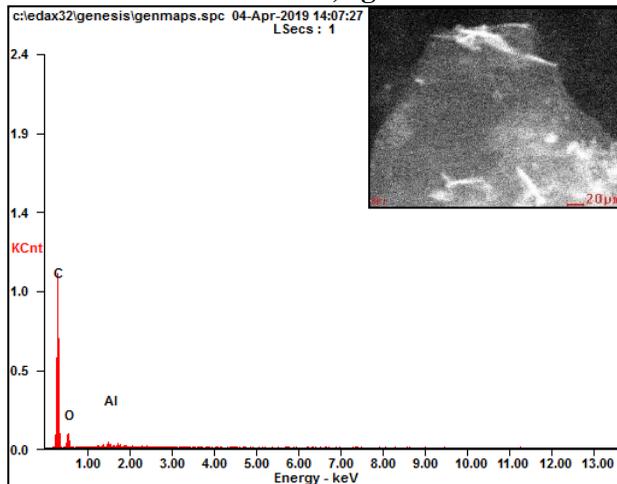
**a. GO**



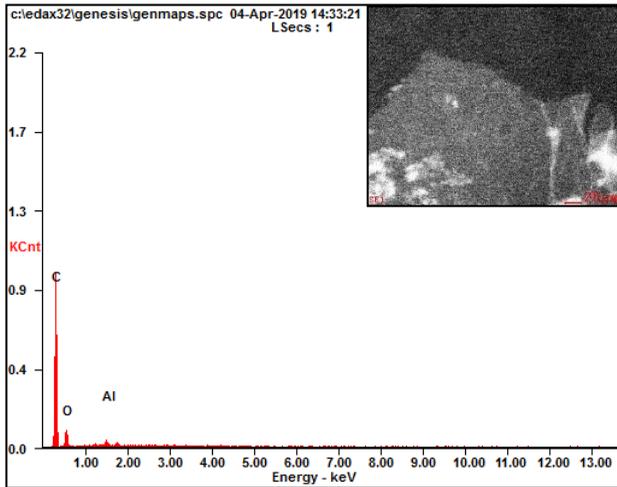
**b. rGO – 0,25 gram Al**



**c. rGO – 0,5 gram Al**



---

**d. rGO – 0,75 gram Al**

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bimbingan kepada penulis sehingga Tugas Akhir dan studi dapat diselesaikan. Oleh sebab itu, ijinkan penulis mengucapkan untai terima kasih kepada :

1. Ibu, Bapak, dan seluruh keluarga tercinta atas segala doa, dukungan berupa moril dan materiil yang telah diberikan selama ini.
2. Seluruh Dosen Teknik Material yang telah memberikan ilmu yang dapat menjadi bekal untuk masa yang akan datang.
3. Seluruh Karyawan Departemen Terknik Material
4. David Septian Sinaga selaku sahabat dan partner Tugas Akhir yang telah memberikan banyak pelajaran dan sabar menemani penulis dalam keadaan suka dan duka.
5. Mbak Yenny Widya Rakhmawati yang selalu sabar dan membimbing penulis serta teman-teman Laboratorium Kimia Material, Alfinus, Ilham, Helmi, dan Nikmah yang telah memberikan warna selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
6. Seluruh teman-teman MT 17 yang saya banggakan.
7. Departemen Sosial Masyarakat BEM FTI-ITS 16/17 Kabinet TORSI yang memberikan banyak pelajaran tentang hidup dan memberikan warna di tahun kedua perkuliahan.
8. Departemen Sosial Masyarakat HMMT FTI-ITS 18/19 yang saya cintai dan banggakan.
9. Serta seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Putro Bakti Utomo dilahirkan dari pasangan Sa'roni dan Nanik Sriyani di Kota Surabaya pada 9 Agustus 1997. Penulis merupakan anak terakhir dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDI Yapita Surabaya, SMPN 30 Surabaya, dan SMAN 1 Surabaya. Setelah itu penulis melanjutkan Pendidikan di perguruan tinggi negeri tepatnya di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS angkatan 2015 melalui

jalur SNMPTN Undangan. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non akademik. Dalam bidang akademik, penulis aktif menjadi Asisten Laboratorium Fisika Material (2016) dan Asisten Laboratorium Korosi selama 2 periode (2018 dan 2019). Penulis pernah memenangkan juara 2 LKTI Tingkat Nasional, serta 2 kali lolos menjadi finalis dalam perlombaan *metallurgy competition* tingkat Nasional tahun 2017 dan 2018. Sedangkan dalam bidang non akademik, penulis aktif di beberapa kegiatan mahasiswa seperti BEM FTI ITS sebagai staff Departemen Sosial Masyarakat (2015/2016), kabiro pengmas Departemen Sosial Masyarakat di HMMT FTI-ITS (2017/2018), serta sebagai kabiro e-learning Departemen HRD di ITS Material Advantage Chapter (2016/2017). Penulis melaksanakan kerja praktik di PT PERTAMINA RU IV Cilacap. Penulis mengakhiri studi S1-nya dengan mengambil bidang Material Inovatif khususnya material terbarukan yaitu *reduced graphen oxide*. Penulis dapat dihubungi melalui alamat e-mail dan telepon : [putrobu@gmail.com](mailto:putrobu@gmail.com) dan : 082232224493

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*