



**TUGAS AKHIR- TL141584**

**ANALISA PENGARUH LAMA WAKTU DEPOSISI  
PADA ELEKTRODA GRAPHENE  
TERHADAP SIFAT KAPASITIF SUPERKAPASITOR**

Albertus Septyantoko  
NRP. 2712 100 014

Dosen Pembimbing

Diah Susanti, ST., M.T, Ph.D  
Hariyati Purwaningsih, S.Si.,M.Si

**Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*





**TUGAS AKHIR- TL141584**

**ANALYZE EFFECT OF DEPOSITION TIME ON  
GRAPHENE ELECTRODE OF  
CAPACITIVE PROPERTIES SUPERCAPACITOR**

Albertus Septyantoko  
NRP. 2712 100 014

Supervisor

Diah Susanti, ST., M.T, Ph.D  
Hariyati Purwaningsih, S.Si.,M.Si

**Materials And Metallurgicals Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2016**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**ANALISA PENGARUH LAMA WAKTU DEPOSISI PADA  
ELEKTRODA GRAPIENE TERHADAP SIFAT  
KAPASITIF SUPERKAPASITOR**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelara Sarjana Teknik Material dan Metalurgi  
Pada

Bidang Studi Material Inovatif  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**Albertus Septyantoko**  
**NRP. 2712 100 014**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

Diah Susanti, S.T., M.T, Ph.D  Pembimbing

Hariyati Purwaningsih, S.Si, M.Si  Co-Pembimbing



**Juli 2016**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **ANALISA PENGARUH LAMA WAKTU DEPOSISI PADA ELEKTRODA GRAPHENE TERHADAP SIFAT KAPASITIF SUPERKAPASITOR**

**Nama** : Albertus Septyantoko  
**NRP** : 2712100014  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Diah Susanti, S.T., M.T, Ph.D  
Hariyati Purwaningsih, S.Si.,M.Si

## **ABSTRAK**

Graphene merupakan material alotrofi karbon dengan formasi lembaran dari bidang karbon dua dimensi dan ketebalan satu atom. Dengan nilai konduktivitas listrik dan luas permukaan aktif yang tinggi maka graphene dapat digunakan sebagai bahan superkapasitor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa lama waktu deposisi graphene pada nickel foam sebagai elektroda superkapasitor. Grafit dioksidasi membentuk Grafit Oksida (GO) dengan modifikasi metode Hummer. Setelah itu, GO direduksi menjadi graphene. Nickel foam dicelupkan ke dalam larutan graphene. Kemudian diultrasonikasi selama 30, 60, dan 90 menit untuk mendeposisikan graphene pada nickel foam. Analisa morfologi dan struktur graphene dilakukan dengan pengujian SEM dan XRD. Pengujian Four Point Probe Test (FPP) digunakan untuk mengukur konduktivitas listrik graphene. Pengujian Cyclic Voltammetry (CV) dengan elektrolit 1M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> digunakan untuk mengukur kapasitansi superkapasitor berbahan graphene dan menganalisa sifat kapasitifnya. Hasil pengujian CV diperoleh nilai kapasitansi spesifik terbesar yaitu 155.44 F/g pada variasi waktu ultrasonikasi 90 menit.

Kata kunci : Graphene, kapasitansi, superkapasitor, waktu deposisi

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **ANALYZE EFFECT OF DEPOSITION TIME ON GRAPHENE ELECTRODE OF CAPACITIVE PROPERTIES SUPER CAPACITOR**

**Student's Name** : Albertus Septyantoko  
**NRP** : 2712100004  
**Department** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Advisor** : Diah Susanti, S.T., M.T, Ph.D  
Hariyati Purwaningsih, S.Si.,M.Si

## **ABSTRACT**

Graphene is a material allotrofi sheet of carbon with the formation of two-dimensional field of carbon and one atom. With the value of the electrical conductivity and high active surface area, the graphene can be used as supercapacitor material. This study aims to analyze the length of time of deposition of graphene on a nickel foam as a supercapacitor electrode. Graphite oxidized graphite oxide (GO) with modification Hummer method. After that, GO is reduced to graphene. Nickel foam is dipped into a solution of graphene. Then done ultrasonication for 30, 60, and 90 minutes to deposit graphene on a nickel foam. Analysis of the morphology and structure of graphene is done by testing SEM and XRD. Testing Four Point Probe Test (FPP) is used to measure the electrical conductivity of graphene. Testing Cyclic voltammetry (CV) with 1M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> electrolyte is used to measure the capacitance of graphene-based supercapacitor and analyzing capacitive properties. CV testing results obtained best specific capacitance value is 155.44 F/g at variation the ultrasonication time 90 minutes.

**Keywords:** Capacitance, graphene, supercapacitor, deposition time

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</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>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Grafit .....	5
2.2 Grafit Oksida .....	6
2.3 <i>Graphene</i> .....	8
2.4 Karakteristik <i>Graphene</i> .....	9
2.5 Sintesis <i>Graphene</i> .....	13
2.6 Electricial Double Layer Capacitor (EDLC).....	14
2.7 Superkapasitor <i>Graphene</i> .....	18
2.8 Nickel Foam Support.....	19
2.9 Penelitian Sebelumnya.....	21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>25</b>
3.1 Bahan.....	25
3.2 Alat .....	25
3.3 Diagram Alir Penelitian .....	27
3.3.1 Sintesis Grafit Oksida .....	27
3.3.2 Sintesis <i>Graphene</i> .....	28
3.3.3 Sintesis Elektroda Ni-graphene.....	29
3.3.4 Pengujian .....	30
3.4 Metode Penelitian .....	30
3.4.1 Sintesis Grafit Oksida .....	31
3.4.2 Sintesis <i>Graphene</i> .....	32

3.4.3 Sintesis Elektroda Ni-graphene.....	33
3.5 Pengujian .....	34
3.5.1 Scanning Electron Microscopy (SEM).....	34
3.5.2 X-Ray Diffraction (XRD).....	35
3.5.3 Four Point Probe Test (FPP).....	36
3.5.4 Cyclic Voltammetry (CV).....	38
3.6 Rancangan Penelitian.....	40
3.7 Jadwal Kegiatan.....	41
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD) .....	43
4.2 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM).....	46
4.3 Pengujian Four Point Probes (FPP).....	51
4.4 Pengujian Cyclic Voltammetry (CV).....	52
4.4.1 Elektroda Ni-graphene .....	53
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>64</b>
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>xxi</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>xxvii</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>xxxvii</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Mekanik Grafit (Sengupta dkk, 2011) .....	6
Tabel 2.2 Kajian Penelitian Sebelumnya .....	20
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian .....	37
Tabel 3.2 Jadwal Kegiatan .....	38
Tabel 4.1 Hasil perhitungan nilai $d_{\text{spacing}}$ dari sampel grafit, grafit oksida, dan graphene .....	41
Tabel 4.2 Perbandingan hasil massa graphene terdeposit terhadap waktu ultrasonikasi .....	45
Tabel 4.3 Hasil Pengujian uji FPP .....	46
Tabel 4.4 Perbandingan hasil massa graphene terdeposit terhadap nilai kapasitansi spesifik (scan rate 5 mV/s) .....	51
Tabel 4.5 Perbandingan hasil kapasitansi spesifik terhadap scan rate dan waktu ultrasonikasi .....	52
Tabel 4.6 Perbandingan hasil energi spesifik dan daya spesifik terhadap scan rate dan waktu ultrasonikasi .....	54
Tabel 4.7 Perbandingan nilai luasan I dV dan massa graphene terhadap kapasitansi spesifik .....	56

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur lapisan grafit yang menunjukkan hibridisasi sp <sup>2</sup> atom karbon (Sengupta dkk, 2011) .....	5
Gambar 2.2 Model skematik lembaran grafit oksida (Owen C dkk, 2010).....	6
Gambar 2.3 Mekanisme oksidasi pada grafit (Shao dkk, 2012)...	7
Gambar 2.4 Model skematik lembaran graphene (Owen C dkk, 2010).....	8
Gambar 2.5 a) Susunan ikatan $\sigma$ dan $\pi$ pada struktur graphene, b) orbital 2p <sub>x</sub> membentuk dua pita $\pi$ simetris pada ujung zona brillouin pertama (Basu dkk, 2012) .....	9
Gambar 2.6 Hasil SEM graphene (Mei dkk, 2015).....	9
Gambar 2.7 Pola XRD pada grafit, grafit oksida, dan graphene (Liu dkk, 2013).....	10
Gambar 2.8 Bandgap dalam graphene a) monolayer graphene, b) bilayer graphene, dan c) saat bilayer graphene diberikan medan listrik E menyebabkan bandgap terbuka (Singh dkk, 2011).....	11
Gambar 2.9 Proses oksidasi grafit menjadi GO dan reduksi GO menjadi graphene (Singh dkk, 2011).....	13
Gambar 2.10 Sketsa plot Ragone untuk beberapa alat penyimpan dan pengkonversi energy (Kotz dkk, 2000).....	13
Gambar 2.11 Skema EDLC (Murata Co Ltd, 2013).....	14
Gambar 2.12 Model pembentukan lapisan elektrokimia ganda (Moseley dkk, 2014).....	15
Gambar 2.13 Skema proses <i>charging</i> dan <i>discharging</i> pada EDLC (Murata Co Ltd, 2013).....	16
Gambar 2.14 Sketsa superkapasitor (Adrian S dkk, 2000).....	17
Gambar 2.15 Hasil SEM dari Nickel Foam dengan perbesaran 200x (Michal dkk, 2012).....	18
Gambar 3.1 Diagram alir sintesis grafit oksida .....	25
Gambar 3.2 Diagram alir sintesis graphene .....	26
Gambar 3.3 Diagram alir sintesis elektroda Ni-graphene.....	27
Gambar 3.4 Diagram alir pengujian .....	28

Gambar 3.5 Proses stirring pada temperature $\pm 5^{\circ}\text{C}$ dalam icebath .....	29
Gambar 3.6 a) skema kerja SEM dan b) SEM Inspect S50.....	32
Gambar 3.7 a) Instrumen XRD PAN alytical, b) Pola difraksi sinar X .....	33
Gambar 3.8 Pengujian FPP .....	34
Gambar 3.9 Pengujian nilai kapasitansi elektroda Graphene/Ni-Foam .....	37
Gambar 4.1 Perbandingan hasil XRD pada sampel grafit, grafit oksida, graphene.....	39
Gambar 4.2 Perbandingan hasil SEM dengan perbesaran 2500x pada sampel a) grafit, b) grafit oksida, c) graphene.....	42
Gambar 4.3 Hasil SEM nickel foam dengan perbesaran a) 75x, b) 500x.....	43
Gambar 4.4 Perbandingan Hasil SEM Ni-graphene dengan perbesaran 75x dan 500x dengan variasi ultrasonikasi a) 30 menit (A-B), b) 60 menit (C-D), c) 90 menit (E-F).....	44
Gambar 4.5 Grafik massa graphene terdeposit terhadap waktu ultrasonikasi.....	46
Gambar 4.6 Perbandingan hasil uji CV grafik I vs E sampel elektroda Ni-graphene pada waktu ultrasonikasi a) 30 menit, b) 60 menit, c) 90 menit.....	48
Gambar 4.7 Perbandingan hasil uji CV grafik F/g vs E sampel elektroda Ni-graphene pada waktu ultrasonikasi a) 30 menit, b) 60 menit, c) 90 menit.....	49
Gambar 4.8 Grafik massa graphene terdeposit terhadap kapasitansi spesifik .....	51
Gambar 4.9 Grafik kapasitansi spesifik terdeposit terhadap scan rate dan waktu ultrasonikasi .....	53
Gambar 4.10 Grafik perbandingan nilai spesifik daya dan spesifik energi.....	54
Gambar 4.11 Perbandingan hasil uji CV pada waktu ultrasonikasi 30 menit, 60 menit, dan 90 menit (scan rate 5 mV/s), a) I terhadap E, b) F/g terhadap E .....	57

Gambar 4.12 Grafik perbandingan rasio luas I dV dan graphene terdeposit terhadap nilai kapasitansi superkapasitor pada scan rate 5 mV/s ..... 58

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Krisis energi yang menjadi polemik global dewasa ini, merupakan salah satu dampak dari terus berkembangnya kebutuhan manusia dan kemajuan teknologi. Hal ini memacu produsen untuk menciptakan alat canggih, praktis dan tahan lama dalam upaya penyimpanan energi. Kemampuan menyimpan energi yang efektif dan minimalis salah satunya dimiliki oleh material graphene. Banyak penelitian yang telah dilakukan dalam mengembangkan kemampuan graphene dalam pemenuhan kebutuhan manusia terhadap penyimpanan energi.

*Graphene* merupakan material alotrofi karbon dengan formasi lembaran dari bidang karbon dua dimensi dan ketebalan satu atom (Singh dkk, 2011). *Graphene* menjadi sangat menarik untuk dikaji karena memiliki sifat kelistrikan, termal, dan mekanik yang luar biasa. Struktur yang unik dari *Graphene* memberikan peningkatan sifat *Graphene*, misalnya mobilitas pembawa yang tinggi ( $\sim 10,000 \text{ cm}^2/\text{V s}$ ), efek Quantum Hall pada temperatur ruangan, Transparansi optik yang baik (97.7%), luas permukaan spesifik ( $2630 \text{ m}^2/\text{g}$ ), Modulus young ( $\sim 1 \text{ TPa}$ ), dan konduktivitas panas yang sangat baik  $\sim 3000 \text{ W/mK}$  (Zhang, 2012).

Sintesis graphene dapat dilakukan dengan berbagai macam metode. Ada yang pengelupasan dari grafit, CVD, elektrodeposisi, dan metode Hummer. Metode Hummer mempunyai kelebihan, selain dari peralatan yang dibutuhkan cukup sederhana, *graphene* yang dihasilkan juga dalam kuantitas yang lebih banyak apabila dibandingkan dengan metode lain (Daniela, 2010). Selain itu proses reduksi nya yang menggunakan serbuk Zn, lebih ramah lingkungan dan lebih cepat daripada menggunakan bahan lain, semisal Hidrazin (Panbo Liu, 2013).

Superkapasitor yang diakui sebagai perangkat penyimpan energi dengan waktu hidup yang lebih lama, rapat daya dan



---

kecepatan *charging-discharging* tinggi yaitu *Electrochemical Double Layer Capacitor* (EDLC). EDLC berbahan dasar graphene merupakan salah satu perangkat penyimpanan energi yang diharapkan. Berdasarkan penelitian Linh T, dkk (2011), nilai kapasitansi superkapasitor dengan bahan dasar graphene menghasilkan nilai kapasitansi 48–132 F/g. Kinerja EDLC graphene dipengaruhi dengan pendepositan graphene pada media elektroda. Adapun elektroda yang digunakan yaitu *nickel foam*. Deposit graphene pada nickel foam merupakan salah satu parameter tingginya nilai kapasitansi elektroda tersebut. Berdasarkan penelitian Yang dkk (2014), yaitu dengan semakin homogen deposit suatu unsur maka akan meningkatkan nilai kapasitansi nya. Salah satu metode untuk meningkatkan homogenisasi atau distribusi graphene pada nickel foam yaitu ultrasonikasi. Distribusi graphene pada nickel foam mempengaruhi nilai kapasitansi superkapasitor. Adapun penelitian yang menganalisa pengaruh waktu ultrasonikasi terhadap nilai kapasitansi spesifik graphene masih belum ada. Oleh sebab itu diperlukan suatu penelitian mengenai hal tersebut agar dapat diperoleh hasil terkait pengaruh lama waktu proses ultrasonikasi dalam pendepositan graphene pada nickel foam terhadap nilai kapasitansi elektroda *nickel foam-graphene*

## **I.2 Rumusan Masalah**

Runusan masalah yang dianalisa dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana mensintesa elektroda superkapasitor berbahan graphene ?
  2. Bagaimanakah pengaruh lama waktu deposisi pada elektroda graphene terhadap sifat kapasitif superkapasitor ?
-



---

### **I.3 Batasan Masalah**

Agar diperoleh hasil akhir yang baik dan sesuai dengan yang diinginkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Ukuran serbuk grafit yang digunakan dalam sintesis dianggap homogen
2. Kecepatan *stirring* dianggap konstan.
3. Tekanan dari autoclave dianggap konstan
4. Temperatur dan tekanan udara sekitar dianggap konstan
5. Waktu ultrasonikasi dalam pendepositan graphene pada nickel dilakukan pada waktu 30 menit, 60 menit, dan 90 menit

### **I.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menyiapkan elektroda superkapasitor berbahan graphene dengan modifikasi metode Hummer
2. Menganalisa pengaruh lama waktu deposisi pada elektroda graphene terhadap sifat kapasitif superkapasitor

### **I.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan elektroda graphene yang mempunyai karakteristik tertentu yang dapat digunakan untuk aplikasi superkapasitor serta dapat digunakan untuk rujukan terhadap penelitian-penelitian selanjutnya seperti aplikasi graphene untuk *fuel cell*, *solar cell*, dsb.

---



---

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

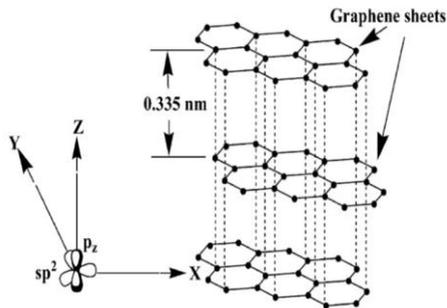
---



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### II.1 Grafit

Grafit ialah suatu material alotropi karbon yang terdiri dari lapisan-lapisan hibridisasi  $sp^2$  atom karbon. Kisi yang membentuk susunan layer atom karbon tersebut dapat berupa heksagonal dan rhombohedral. Jarak antar atom yang satu dengan yang lainnya sebesar  $1.42 \text{ \AA}$  dan membentuk sudut  $120^\circ$ . Sedangkan jarak antar layer dalam bidang yang berbeda sebesar  $0,335 \text{ nm}$ . (Terrones dkk, 2010). Adapun stuktur lapisan dari grafit dalam bidang tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 2.1



**Gambar 2.1** Struktur lapisan grafit yang menunjukkan hibridisasi  $sp^2$  atom karbon (Sengupta dkk, 2011)

Struktur hibridisasi  $sp^2$  dari grafit memiliki empat elektron valensi. Tiga elektron valensi membentuk ikatan kovalen ( $\sigma$  - bonds ) dengan atom karbon terdekat. Untuk elektron valensi yang keempat atau elektron  $\pi$  beresonansi diantara struktur ikatan kovalen. Material grafit selain berikatan antar elektron valensi nya, juga terdapat ikatan van der waals lemah yang mengikat layer-layer grafit (Entegris INC, 2013). Adapun sifat mekanik dari grafit dijelaskan pada Tabel 2.1

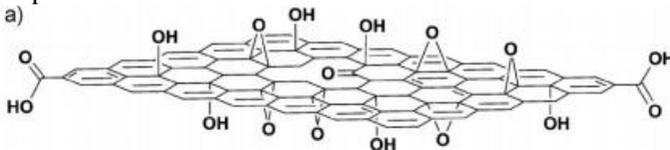


**Tabel 2.1** Sifat mekanik grafit (Sengupta dkk, 2011)

Sifat	Nilai	Satuan
<b>Modulus Elastisitas</b>	1	Tpa
<b>Massa Jenis</b>	2.26	$\text{g/cm}^3$
<b>Kekuatan</b>	130	Gpa
<b>Konduktivitas Termal</b>	300	W/m K
<b>Resitivitas</b>	50	$\mu\Omega \text{ cm}$

## II.2 Grafit Oksida

Grafit Oksida umumnya terbuat dari reduksi kimia serbuk grafit dengan menggunakan larutan oksida kuat seperti  $\text{KMnO}_4$  yang terlarut dalam konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Selama reaksi tersebut berlangsung, lembaran graphene dalam partikel terderivikasi dengan oksigen menjadi bagian-bagian lebih kecil (Jiayan dkk, 2010). Adapun model skematik lembaran grafit oksida dapat dilihat pada Gambar 2.2

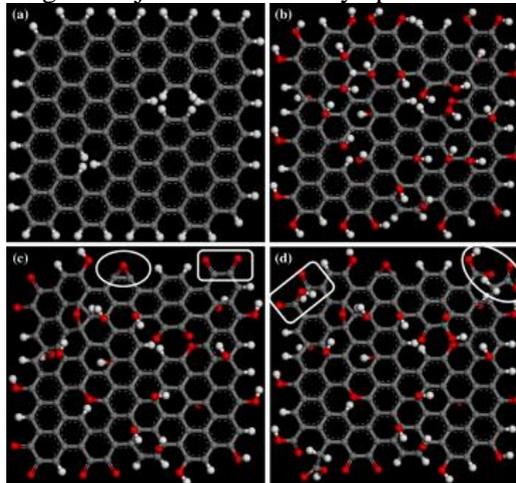


**Gambar 2.2** Model skematik lembaran grafit oksida (Owen C dkk, 2010)

Proses oksidasi pada grafit dimulai ketika grafit bereaksi dengan reaktan pada temperatur dibawah  $50^{\circ}\text{C}$ . Grafit akan berubah menjadi *graphite intercalation compound* (GIC) yang membuat grafit lebih mudah untuk dioksidasi. Selama proses oksidasi gugus fenol akan terbentuk pada daerah tepi grafit oksida karena reaksi dengan  $\text{KMnO}_4/\text{H}_2\text{SO}_4$ . Seperti yang ditunjukkan oleh gambar dibawah. Pada awal proses oksidasi gugus yang terbentuk adalah gugus fenol. Karena adanya proses oksidasi



secara terus-menerus, pada sisi lain gugus fenol berubah menjadi gugus eter karena kondensasi (gambar 2.3 (c) oval). Pada sisi yang lain, gugus fenol pada tepi yang lain teroksidasi dan berubah menjadi gugus keton (gambar 2.3 (c) kotak). Gugus keton yang terbentuk akan berubah menjadi gugus  $\text{-COOH}$  yang kemungkinan merupakan gugus karboksil atau karbonil. Karena adanya efek elektropilik dan mekanisme anionic, gugus  $\text{COOH}$  akan dengan mudah mengalami dekarboksilasi dan ikatan C-C akan hilang. Jika tiga atom karbon yang berikatan dengan atom hydrogen pada salah satu tepi teroksidasi, maka  $\text{CH}_2$  akan terbentuk (gambar 2.3 (d) oval) (Shao dkk, 2012). Mekanisme oksidasi pada grafit dijelaskan seluruhnya pada Gambar 2.3



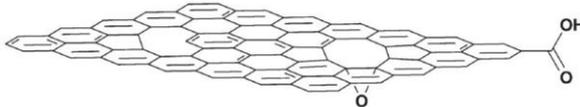
**Gambar 2.3** Mekanisme oksidasi pada grafit (Shao dkk, 2012)

### II.3 Graphene

Graphene merupakan suatu material yang telah menarik perhatian besar sejak ditemukan pada tahun 2004 oleh Andre Geim dan Konstantin Novoselov di Manchester, Inggris. Sebagai bagian baru dari material berbasis karbon, struktur sarang lebah dari graphene dengan ikatan orbital  $\text{sp}^2$  dan  $\pi$  diantara orbital p, yang tegak lurus mendasari sifat fisik yang beragam,



seperti 2D Dirac Fermion, efek kuantum Hall yang unik, dan pembawa tegangan (*charge carrier*) dengan mobilitas yang besar (Yoon, 2010). Aplikasi dari graphene sangatlah luas dalam dunia industri misalnya peralatan elektronik, transistor, sensor, lapisan konduktif transparan, pembersih energi, penyusun nanokomposit *graphene-polymer* (Yanwu Z dkk, 2010). Adapun model skematik lembaran graphene dapat dilihat pada Gambar 2.4



**Gambar 2.4** Model skematik lembaran graphene  
(Owen C dkk, 2010)

Graphene adalah jenis semikonduktor dengan *zero-gap* yaitu pita konduksi dan valensi bersentuhan pada titik *dirac*. Rapat elektronik adalah nol pada titik *dirac*. Topologi dari pita ini memberikan kenaikan pada keunikan sifat transportasi elektronik.

## II.4 Karakteristik Graphene

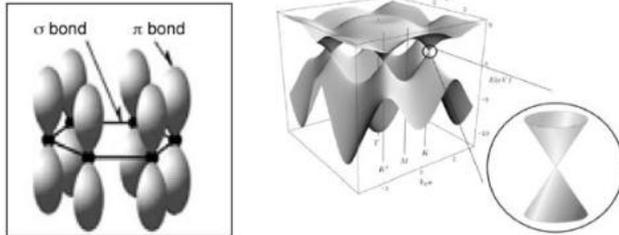
Struktur unik dari graphene menjadikan graphene memiliki sifat yang baik meliputi mobilitas yang tinggi, efek Quantum Hall pada temperatur ruangan, transparansi optik yang baik, luas permukaan spesifik, modulus young, dan konduktivitas panas yang sangat baik (Zhang dkk, 2012).

### a. Morfologi dan struktur graphene

Satu atom karbon memiliki empat elektron valensi dengan konfigurasi elektron  $[\text{He}] 2s^2 2p^2$ . Pada *graphene*, ikatan kimia atom-atom karbon merupakan superposisi  $2s$  dengan orbital  $2p_x$  dan  $2p_y$ . Orbital planar memberikan kesetimbangan energi ikatan  $\sigma$  dengan 3 atom carbon yang berdekatan pada kisi heksagonal 2D seperti Gambar 2.5(a). Atom-atom karbon ini menjadi sangat responsif terhadap energi ikatan dan sifat elastisitas dari lembaran *graphene* (Choi dkk, 2012). Sedangkan orbital lainnya yaitu  $2p_z$  (aksis  $z$  tegak lurus dengan bidang *graphene*) membentuk orientasi simetris dua pita  $\pi$  ( membentuk kerucut) seperti

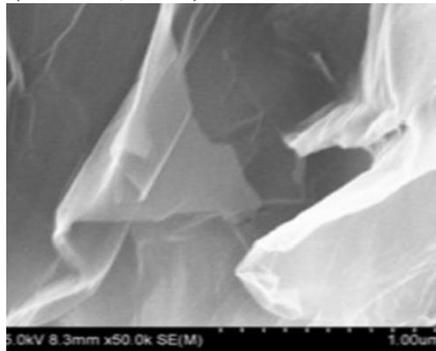


Gambar 2.5(b) dan bertumpuknya orbital ini dengan atom sekitar menjadikan *graphene* memiliki sifat elektronik yang baik (Zhang dkk, 2012).



**Gambar 2.5 a)** Susunan ikatan  $\sigma$  dan  $\pi$  pada struktur *grapheme*  
**b)** orbital  $2p_z$  membentuk dua pita  $\pi$  simetris pada ujung zona brillouin pertama (Basu dkk, 2012)

*Graphene* didapatkan dari pengelupasan struktur grafit oksida yang telah direduksi, sehingga menyisakan beberapa layer yang tipis. Morfologi *grapheme* dapat dilihat melalui SEM pada gambar 2.6 dimana tampak lapisan dari *grapheme* yang tipis dan berkerut-kerut (Mei dkk, 2015).

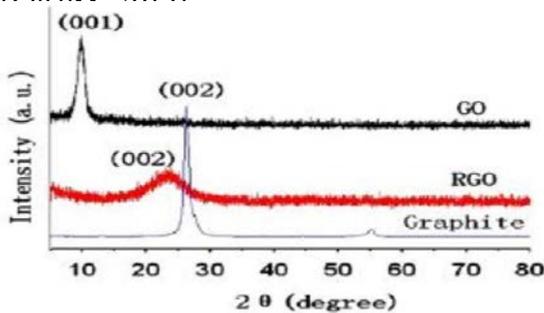


**Gambar 2.6** Hasil SEM *graphene* (Mei dkk, 2015)

Dengan menggunakan XRD, dapat diketahui perbedaan puncak dari material grafit, grafit oksida, dan *grapheme*. Perbedaan puncak ini mengindikasikan terjadinya perubahan



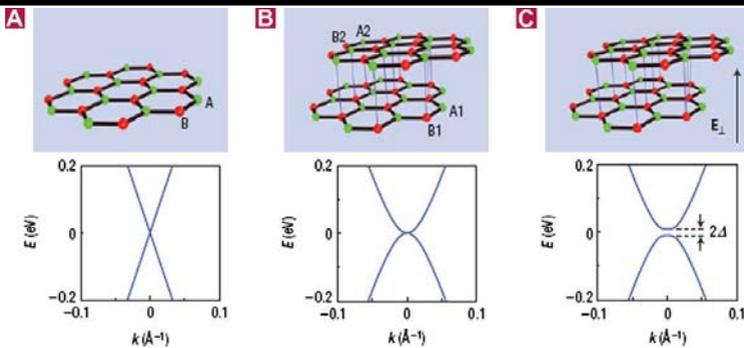
struktur kristal. Grafit murni memiliki spectra pada  $2\theta = 26.7^\circ$  dari puncak difraksi (002) dengan jarak antar layer  $3.4 \text{ \AA}$ . Setelah proses oksidasi, perubahan besar terjadi dengan munculnya puncak difraksi (001) yang lebar pada rentang spectra  $9,8^\circ$ - $11.5^\circ$  yang merupakan grafit oksida. Jarak antar layer GO pada  $11.5^\circ \text{ \AA}$  setara dengan  $7.72^\circ \text{ \AA}$ , yang lebih besar daripada grafit. Jarak antar layer yang melebar berhubungan dengan pembentukan gugus oksigen, *hydroxyl*, dan *carboxyl*. Pola XRD untuk grapheme pada gambar 2.7 dimana menunjukkan puncak difraksi (002) yang lebar dengan spectra  $23.8^\circ$  dan jarak antar layer mendekati grafit. Perubahan puncak difraksi pada spektra ini menandakan GO telah tereduksi dengan baik, sehingga jarak antar mengecil (Liu dkk, 2013)



**Gambar 2.7** Pola XRD pada grafit, grafit oksida, dan grapheme (Liu dkk, 2013)

#### b. Sifat elektronik graphene

*Graphene* murni, sebuah kisi karbon heksagonal dua dimensi adalah konduktor dengan *zero gap*. Hibridisasi  $sp^2$  atom karbon tersusun dalam bentuk heksagonal dalam lapisan dua dimensi. Satu cincin heksagonal terdiri dari tiga ikatan *in-plane sigma* orbital  $p_z$  yang tegak lurus terhadap bidang heksagonal. Semakin bertambahnya lapisan *graphene* maka nilai bandgap semakin besar (Singh dkk, 2011) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8** Bandgap dalam *graphene*. a) *monolayer graphene*, b) *bilayer graphene*, dan c) saat *bilayer graphene* diberikan medan listrik  $E$  menyebabkan *bandgap* terbuka (Singh dkk, 2011)

Sebagai konduktor dengan *zero bandgap*, *graphene* menunjukkan sebuah efek medan listrik ambipolar dan pembawa muatan yang dapat diatur terus-menerus antara elektron dan *holes* dalam konsentrasi setinggi  $10^{13} \text{ cm}^{-2}$ , dengan mobilitas elektron di temperatur ruang hingga  $15.000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ . Selain itu, mobilitas yang diamati tidak terlalu bergantung pada temperatur, sehingga mobilitas *graphene* yang sangat tinggi dapat diperoleh di temperatur ruang. Dengan mengurangi pengotor, mobilitas elektron dapat mencapai  $200.000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  untuk *suspended graphene* (Zhu dkk, 2010).

### c. Sifat mekanik dan thermal *graphene*

*Graphene* memiliki kekuatan patah 200 kali lebih besar dari pada baja. *Graphene* memiliki modulus young 1.0 TPa dan Fracture strength 130 GPa (Zhu dkk, 2010) dan memiliki keuletan hingga 25%. Ketebalan mekanik *grapheme* dapat dikendalikan seperti yang ditunjukkan pada peforma pengukuran tegangan mekanik (Choi, 2012).

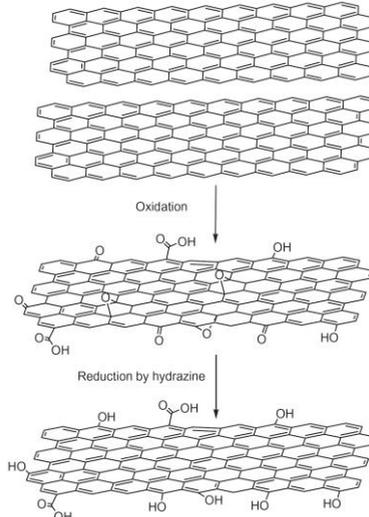
Konduktivitas panas ( $k$ ) didominasi oleh transfer fonon, atau disebut sebagai *Diffusive condition* pada temperature tinggi dan *ballistic conduction* pada temperature rendah. Simulasi MD



memperlihatkan bahwa  $\kappa \sim 1/T$  bergantung pada graphene yang bebas cacat karena temperature  $T$  meningkat hingga 100 K. Pada temperature kamar, konduktivitas panas grapheme monolayer adalah 6000 W/mK, dan nilai konduktivitas panas ini menjadi lebih tinggi daripada karbon dalam bentuk grafit (Zhu dkk, 2010).

## II.5 Sintesis Graphene

Terdapat berbagai metode untuk mensintesis *graphene*. Beberapa metode yang umum antara lain *micromechanical* dan *chemical exfoliation* dari grafit, reduksi GO, *epitaxial growth* di atas SiC, dan *chemical vapor deposition (CVD)* di atas logam transisi. Diantara proses sintesis tersebut, metode reduksi GO merupakan metode yang disarankan untuk produksi *graphene* secara masal. Metode reduksi GO secara umum dimulai dengan proses oksidasi grafit dan dilanjutkan dengan proses reduksi (Daniela dkk, 2010). Adapun proses tersebut dapat dilihat pada gambar Gambar 2.9

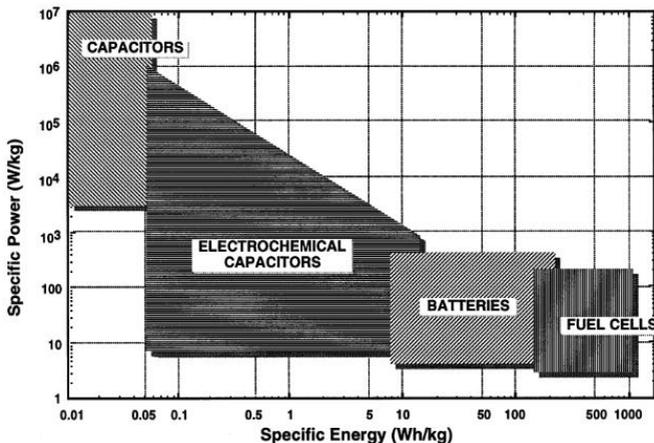


**Gambar 2.9** Proses oksidasi grafit menjadi GO dan reduksi GO menjadi *graphene* (Singh dkk, 2011)



## II.6 Electrical Double Layer Capacitor (EDLC)

*Electrical Double Layer Capacitor* (EDLC) merupakan salah satu jenis alat penyimpanan dan pengkonversi energy. Jenis kapasitor ini menyimpan energi dalam *electrochemical double layer* pada elektroda. Aplikasi dari EDLC dapat dikombinasikan pada baterai atau pengganti baterai secara primer dalam kendaraan listrik. Berikut alasan penggunaan EDLC yang menjadi perhatian penggunaanya dewasa ini dapat dilihat pada gambar 2.10 (Kotz dkk, 2000).

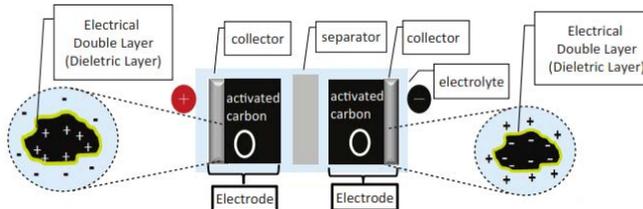


**Gambar 2.10** Sketsa plot Ragone untuk beberapa alat penyimpanan dan pengkonversi energy (Kotz dkk, 2000)

Berdasarkan gambar tersebut, EDLC atau kapasitor elektrokimia dapat meningkatkan performansi baterai dalam hal rapat daya atau meningkatkan performansi kapasitor dalam hal rapat energy ketika dikombinasikan dengan alat yang bersangkutan. Selain itu kapasitor elektrokimia memiliki siklus hidup yang lebih panjang daripada baterai karena tidak ada atau hanya sedikit reaksi transfer muatan kimia yang sedang berlangsung di dalamnya (Kotz dkk, 2000).

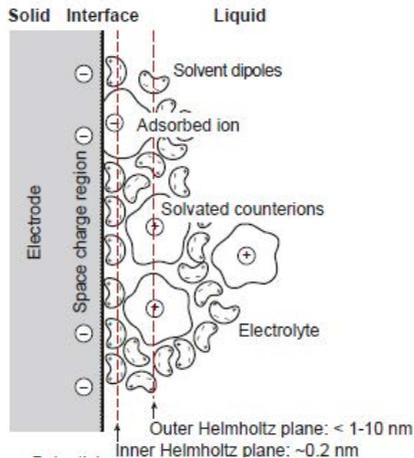


EDLC terdiri atas dua elektroda berbahan karbon, pemisah, dan elektrolit. Skema EDLC secara lengkap seperti terlihat pada gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Skema EDLC (Murata Co Ltd, 2013)

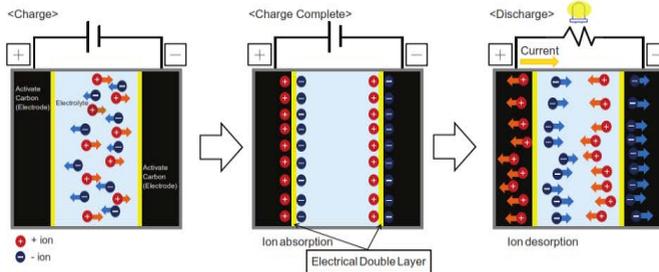
Penyimpanan muatan pada EDLC didasarkan pada pemanfaatan pemisahan muatan secara fisik antara ion-ion pada satu sisi elektroda dan muatan permukaan pada *interface solid liquid* pada sisi lainnya, atau yang dikenal sebagai lapisan elektrokimia ganda. Lapisan ganda dapat dibentuk dengan memberikan tegangan pada elektroda yang terendam dalam larutan elektrolit. Tegangan yang diberikan akan menginduksi pemisahan muatan dan mendorong ion-ion dalam larutan elektrolit berdifusi melewati pemisah menuju elektroda. Di sekitar elektroda, ion-ion tersebut akan mengalami penyusunan ulang akibat tertarik oleh muatan yang berbeda pada sisi solid elektroda. Oleh karena itu terbentuklah lapisan ganda yang terdiri atas dua lapis muatan paralel ion-ion pada *interface* elektroda dan ion-ion dengan muatan berlawanan pada sisi elektroda solid (Moseley, 2014). Gambar 2.12 menunjukkan contoh pembentukan lapisan ganda pada permukaan elektroda.



**Gambar 2.12** Model Pembentukan lapisan elektrokimia ganda (Moseley dkk, 2014)

Pemberian tegangan pada elektroda yang terendam dalam elektrolit juga menimbulkan mekanisme absorpsi dan desorpsi ion pada kedua layer elektroda karbon, yang berperan dalam pengisian dan pengosongan EDLC. Saat tegangan diberikan pada kedua elektroda yang berhadapan maka ion akan tertarik ke permukaan kedua elektroda dan terjadilah proses pengisian atau *charging*. Sebaliknya, ion akan bergerak menjauh saat EDLC digunakan atau *discharging* (Murata Co Ltd, 2013). Proses *charging* dan *discharging* dari EDLC dapat dilihat pada gambar 2.13

Mekanisme kerja EDLC merupakan proses non-Faradaik yang tidak melibatkan transfer muatan antara elektroda dan elektrolit, sehingga tidak terjadi perubahan komposisi kimia. Hal inilah yang menjadikan penyimpanan muatan EDLC memiliki tingkat reversible dan stabilitas siklus yang tinggi. EDLC biasanya mampu beroperasi dengan karakteristik kinerja yang stabil untuk siklus *charge-discharge* tinggi mencapai  $10^6$  cycles. Sebaliknya baterai elektrokimia hanya mampu bekerja dengan siklus mencapai  $10^3$  (Halper dkk, 2006).

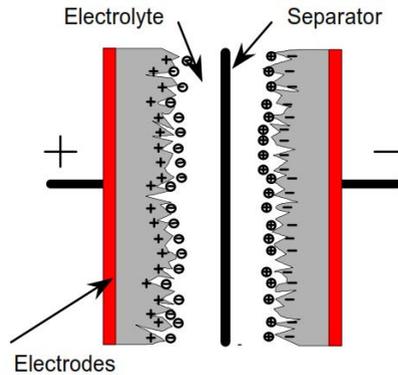


**Gambar 2.13** Skema proses *charging* dan *discharging* pada EDLC (Murata Co Ltd, 2013)

## II.7 Superkapasitor Graphene

Superkapasitor merupakan salah satu alat yang berfungsi untuk menyimpan energy dan melepaskannya kembali dengan daya yang tinggi dan densitas arus yang tinggi selama selang waktu yang pendek. Prinsip penyimpanan energy pada superkapasitor adalah akumulasi dari muatan elektrostatis pada elektroda-interface elektrolit (EDLC) atau transfer dari muatan ke dalam lapisan molekul yang mengalami reaksi redoks pada bagian permukaan dari elektroda (pseudokapasitor) (Steven M, 2011).

Sebuah superkapasitor pada dasarnya terdiri dari dua elektroda, sebuah membrane pemisah, dan larutan elektrolit seperti pada gambar 2.14. Elektroda merupakan *metallic collector* yang memiliki tingkat konduktivitas tinggi dan merupakan material aktif pada bagian permukaan. Dua elektroda terpisah oleh membrane. Membran ini sebagai tempat mobilitas ion bermuatan. Elektrolit yang digunakan dapat berasal dari solid dan larutan organik. Kerja voltase superkapasitor ditentukan oleh elektrolit dan temperature sekitar (Adrian S dkk, 2000).



**Gambar 2.14** Sketsa superkapasitor (Adrian S dkk, 2000)

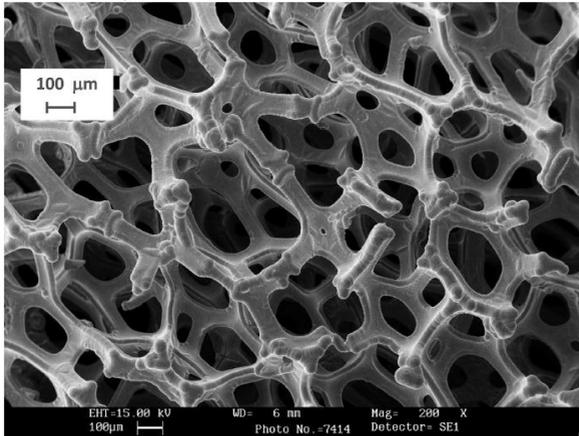
Superkapasitor EDLC sangat tergantung pada luas permukaan aktif dari material elektroda. Oleh karena itu, graphene yang mempunyai luas permukaan aktif teoritik mencapai  $2630 \text{ m}^2/\text{g}$ , yang juga mempunyai sifat konduktivitas yang baik, mikrostruktur yang dapat dikontrol, dan stabilitas termal dan mekanik yang baik (Zhang dkk, 2012).

## II.8 Nickel Foam Support

Material logam berporos memiliki area permukaan aktif dan struktur berpori disebut dengan *metallic foam*. *Metallic foam* digunakan untuk aplikasi penyimpanan energi dan bagian dari aplikasi energi seperti baterai, superkapasitor, dan *fuel cells*. *Metallic foam* dapat diaplikasikan apabila dalam bentuk solid lembaran dimana nantinya sebagai tempat pengisi dari unsur aktif lain. *Metallic foam* juga berfungsi sebagai penyimpanan arus dan matrix. Nickel memiliki kekuatan mekanik, tingkat keelambanan tinggi, tahan korosi, dan harga yang lebih murah dalam produksinya. Oleh sebab itu, nickel dapat digunakan sebagai material nickel foam. Berdasarkan gambar 2.15, menunjukkan bahwa nickel foam saling menyatu interconnected dari pori kecil dan pori besar yaitu dalam bentuk pentagonal dengan ukuran  $50 \pm 10 \mu\text{m}$  dan  $500 \pm 100 \mu\text{m}$ . Poros yang besar mendominasi



struktur tiga dimensi dan pori kecil terhubung di dalamnya (Michal dkk, 2012).



**Gambar 2.15** Hasil SEM dari *Nickel Foam* dengan perbesaran 200x (Michal dkk, 2012)

Unsur atau material logam yang akan dimasukkan ke dalam nickel foam memiliki jari-jari lebih kecil. Graphene merupakan salah satu logam yang memiliki jari-jari dibawah nickel foam yaitu sebesar 30  $\mu\text{m}$  (Barton dkk, 2010).

Pendepositan graphene ke dalam nickel foam dilakukan dengan melarutkan graphene ke dalam aquades. Nickel foam dicelupkan ke dalam larutan tersebut, sehingga graphene dapat berpindah atau menyisip ke dalam pori-pori nickel foam. Untuk menghomogenkan graphene di dalam nickel foam maka dilakukan ultrasonikasi. Ultrasonikasi merupakan metode yang memanfaatkan energi ultrasonik untuk menghomogenkan suatu unsur di dalam unsur yang lain. Homogenisasi deposit suatu unsur akan meningkat seiring dengan lamanya proses ultrasonikasi (Genish dkk ,2015). Dengan semakin homogen deposit suatu unsur maka akan meningkatkan nilai kapasitansi nya (Lei dkk, 2010).



---

## II.9 Metode Hidrotermal

Prinsip utama dari proses *hydrothermal* yaitu menghasilkan reaksi heterogen dalam media pelarut cair dengan kondisi temperature dan tekanan tinggi untuk melarutkan dan merekristalisasi material yang tidak bisa berlangsung pada kondisi normal. Dalam proses tersebut menggunakan peralatan *autoclave*. Dalam proses *hydrothermal* terjadi beberapa hal antara lain sintesis fasa baru atau stabilisasi dari kompleksitas baru, pertumbuhan kristal dari beberapa senyawa kimia, preparasi dari proses penghalusan material dan mikrokatalis dengan ukuran dan morfologi yang presisi untuk aplikasi tertentu, pencucian bijih dalam ekstraksi logam dan dekomposisi.

Berdasarkan penelitian Zhou dkk (2009) menyatakan bahwa dengan metode *hydrothermal dehydration* yang mudah, bersih, dan terkontrol dapat mengubah graphene oksida menjadi larutan graphene yang stabil. *Supercritical water* (SC) yang digunakan dalam proses *hydrothermal* dapat menjadi agen pereduksi yang baik dan menjadi alternatif pelarut organik. Dalam proses *hydrothermal*, SC mampu mereduksi gugus fungsi oksigen dari GO dan memperbaiki struktur aromatikanya.

Adapun keunggulan dalam proses *hydrothermal* disampaikan oleh Jang-Hoon dkk (2008) yaitu proses sintesis, pengontrolan bentuk dan ukuran serbuk, temperature operasi yang rendah, homogenisasi tinggi dan biaya operasional rendah.

aktif dan struktur berpori disebut dengan *metallic foam*. *Metallic foam* digunakan untuk aplikasi penyimpan energi dan bagian dari aplikasi energi seperti baterai, superkapasitor, dan *fuel cells*. *Metallic foam* dapat diaplikasikan apabila dalam bentuk solid lembaran dimana nantinya sebagai tempat pengisi dari unsur aktif lain. *Metallic foam* juga berfungsi sebagai penyimpan arus dan matrix. Nickel memiliki kekuatan mekanik, tingkat keelmbanan

---



## II.10 Kajian Penelitian Sebelumnya

Dalam sebuah penelitian tentunya memiliki background penelitian sebelumnya, hal ini berfungsi sebagai dasaran analisa dan pembanding hasil nantinya. Tabel 2.2 menjelaskan penelitian sebelumnya terkait dengan penelitian yang dilakukan.

**Tabel 2.2** Nilai kapasitansi dari superkapasitor terhadap lama waktu pendepositan graphene pada base elektroda

Material	Perlakuan	Lama waktu deposit (menit)	Kapasitansi Spesifik	Peneliti
Graphene	Deposit pada nickel foam	30	125,87 (F/g)	Hanung Ikk (2015)
Nickel Aluminum	Deposit pada raphene foam	120	1,22 F/cm <sup>2</sup>	Damilola Ikk (2015)
NiS/CoO	Deposit pada nickel foam	5	1054 F/g	Jianghong Ikk (2015)
Porous Graphene	Deposit pada nickel foam	15	83,2 mF/cm <sup>2</sup>	Yang dkk (2014)
Komposit carbon nanotube-MnO <sub>2</sub>	Deposit pada nickel foam	30	155 F/g	Li dkk, (2008)

Pada tahun 2008, Li dkk melakukan sintesis komposit MnO<sub>2</sub>-carbon nanotube. Serat MnO<sub>2</sub> dengan panjang 0,1 – 1  $\mu\text{m}$  dan diameter 2 – 4 nm disiapkan sebagai bahan dengan metode pengendapan kimia. Elektroda komposit untuk superkapasitor dibentuk dari serat MnO<sub>2</sub> dan carbon nano tube. Komposit MnO<sub>2</sub>-carbon nanotube diendapkan dalam nickel foam agar dapat digunakan sebagai elektroda dengan lama pendepositan 30 menit. Variabel yang digunakan dalam penelitian tersebut yaitu komposisi carbon nanotube. Dengan rentang 0-20% komposisi nanotube semakin meningkatkan nilai kapasitansi. Adapun nilai



---

kapasitansi yang diperoleh paling tinggi sebesar sebesar 155 F/g dengan laju potensial senilai 2 mV/s dalam larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Pada tahun 2014, Yang dkk melakukan sintesis elektroda porous graphene/nickel foam. Adapun elektroda superkapasitor dihasilkan dari pengendapan graphene pada nickel foam. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu waktu *electrodeposition* dan potensial pengendapan graphene pada nickel foam. Waktu *electrodeposition* yang digunakan yaitu 300, 400, 500, 600, 700 s dan potensial pengendapan yang digunakan yaitu -1,0; -1,1; -1,2; -1,3 V. Hasil dari penelitian yaitu semakin besar waktu *electrodeposition* dan potensial pengendapan akan meningkatkan nilai kapasitansi elektroda graphene/nickel foam. Adapun kapasitansi terbesar yang diperoleh yaitu 183,2 mF/cm<sup>2</sup>.

Pada tahun 2015, Hanung dkk melakukan sintesis elektroda graphene/nickel foam. Sintesis Graphene diperoleh dari reduksi grafit oksida dengan penambahan serbuk Zn. Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variasi massa serbuk Zn sebesar 0,8; 1,6; 2,4 g. Variabel lain yaitu larutan elektrolit dalam pengujian kapasitansi elektroda. Larutan tersebut yaitu  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Hasil dari penelitian ini yaitu massa serbuk Zn yang paling optimum menghasilkan nilai kapasitansi tinggi yaitu 1,6 g. Larutan elektrolit yang paling menghasilkan nilai kapasitansi tinggi yaitu larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Nilai kapasitansi elektroda yang dihasilkan dari penelitian ini yaitu sebesar 125,87 (F/g).

---



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

---



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **III.1 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Serbuk grafit dengan ukuran 150  $\mu\text{m}$  (purity 99%)
2. Air suling / aquades ( $\text{H}_2\text{O}$ )
3. Larutan elektrolit asam sulfat 98% ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
4. Es
5. Serbuk Natrium nitrat ( $\text{NaNO}_3$ )
6. Serbuk Kalium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ )
7. Larutan Hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )
8. Larutan Asam klorida 35% ( $\text{HCl}$ )
9. Larutan Barium klorida ( $\text{BaCl}_2$ )
10. Serbuk Zinc ( $\text{Zn}$ )
11. Nikel Foam
12. Larutan Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )

#### **III.2 Alat**

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini :

1. Neraca Analitik (Mettler Toledo)  
Alat ini digunakan untuk mengukur massa serbuk grafit,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$ , grafit oksida dan serbuk Zn.
2. Pipet  
Pipet yang digunakan adalah pipet standar larutan.
3. Pengaduk (Spatula)  
Digunakan untuk mengaduk larutan.
4. *Hot Plate with Magnetic Stirrer*  
Alat ini digunakan untuk mencampur dan mengaduk larutan agar homogen serta untuk proses *drying graphene* dari hasil proses *hydrothermal*.
5. Furnace (*Thermolyne*)  
Digunakan untuk proses pembuatan GO dan *graphene*.

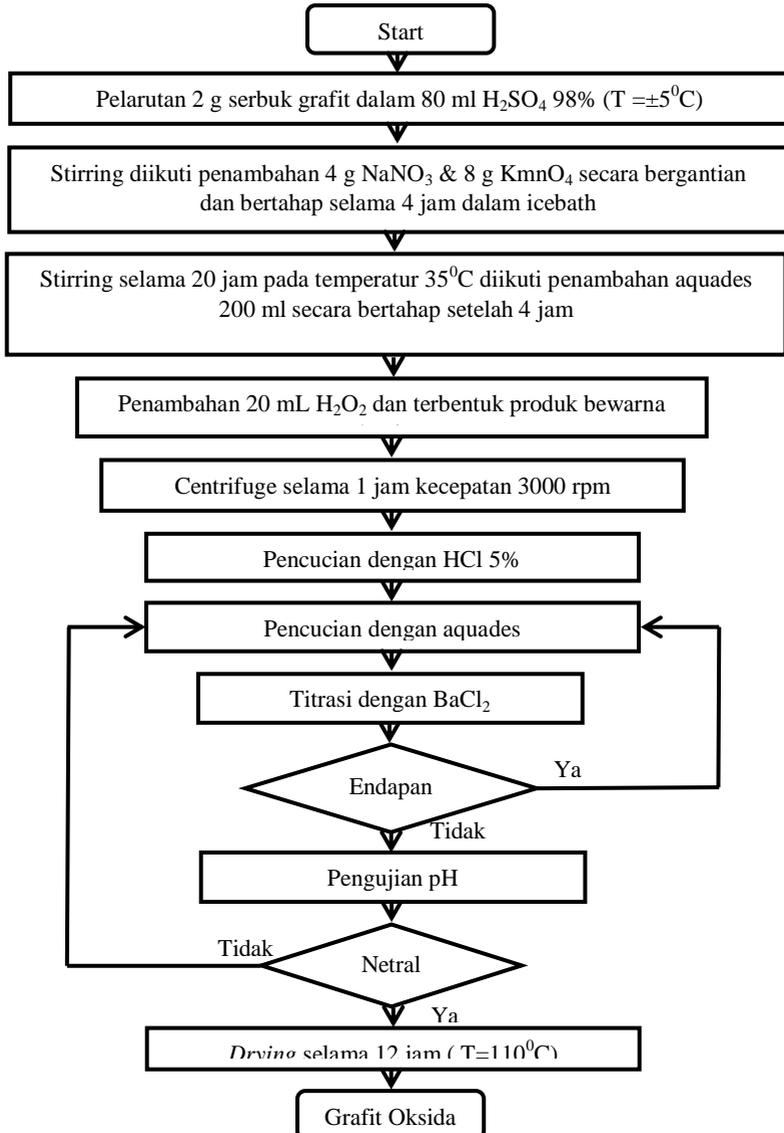


- 
6. Instrumen Karakterisasi Material
    - *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui senyawa yang terkandung dalam suatu sampel dan struktur kristalnya. XRD yang digunakan ialah XRD Phillip Analytical
    - *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk menganalisis morfologi dan ukuran partikel. SEM yang digunakan ialah SEM Inspect S50
    - *Four Point Probe Test* (FPP) untuk mengukur konduktivitas listrik dari sampel *grapheme*.
    - *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk mengetahui nilai kapasitansi elektroda superkapasitor berbahan *graphene*. CV yang digunakan ialah Autolab PG STAT 302 Methrom
  7. *Autoclave*  
Digunakan untuk proses *hydrothermal*.
  8. Masker+ Sarung tangan  
Digunakan untuk melindungi dari uap beracun dan bahan-bahan kimia yang digunakan selama proses di laboratorium.
  9. *Erlenmeyer*  
Digunakan untuk menaruh larutan.
  10. *Ice bath*  
Digunakan untuk tempat peletakan es selama pembuatan grafit oksida.
  11. *Centrifuge*  
Digunakan untuk mengatur memisahkan partikel terdispersi.
  12. Ultrasonic Cleaner  
Digunakan untuk homogenisasi dan pengelupasan lembaran *graphite oxide* menjadi *graphene oxide*.
-



### III.3 Diagram Alir Penelitian

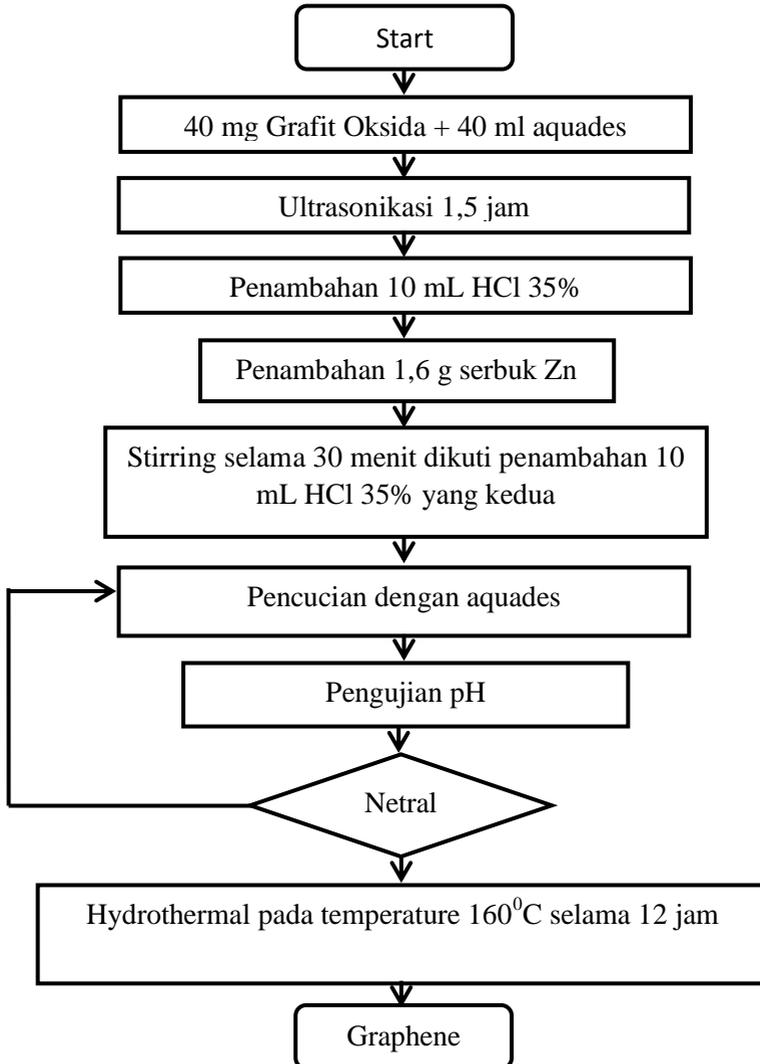
#### 3.3.1 Sintesis Grafit Oksida



**Gambar 3.1** Diagram alir sintesis grafit oksida



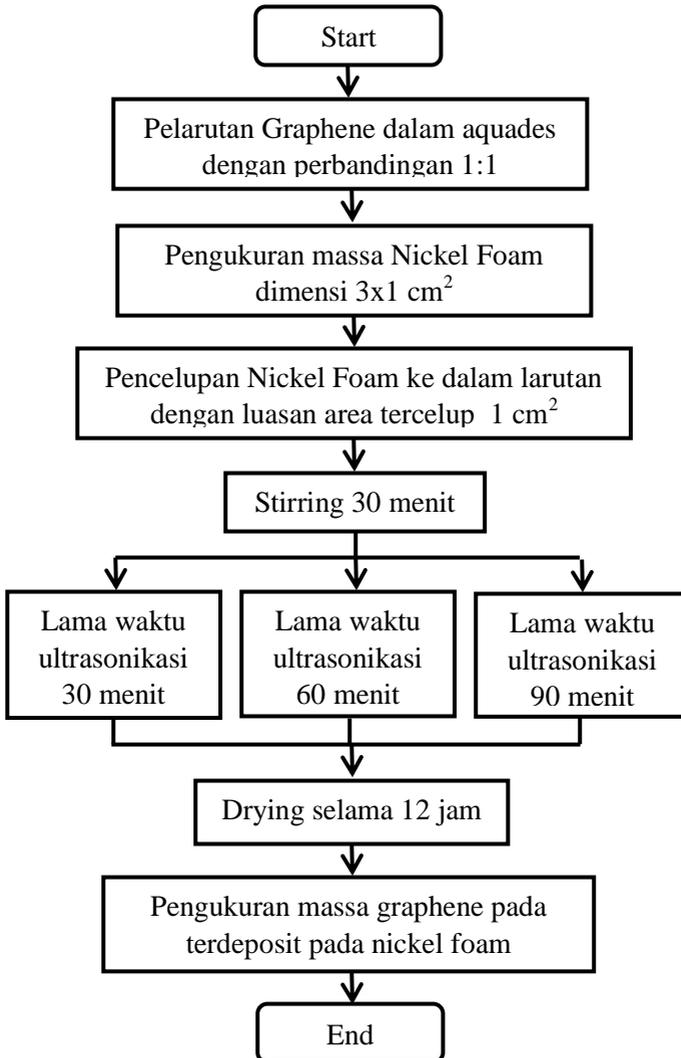
### 3.3.2 Sintesis Graphene



**Gambar 3.2** Diagram alir sintesis graphene



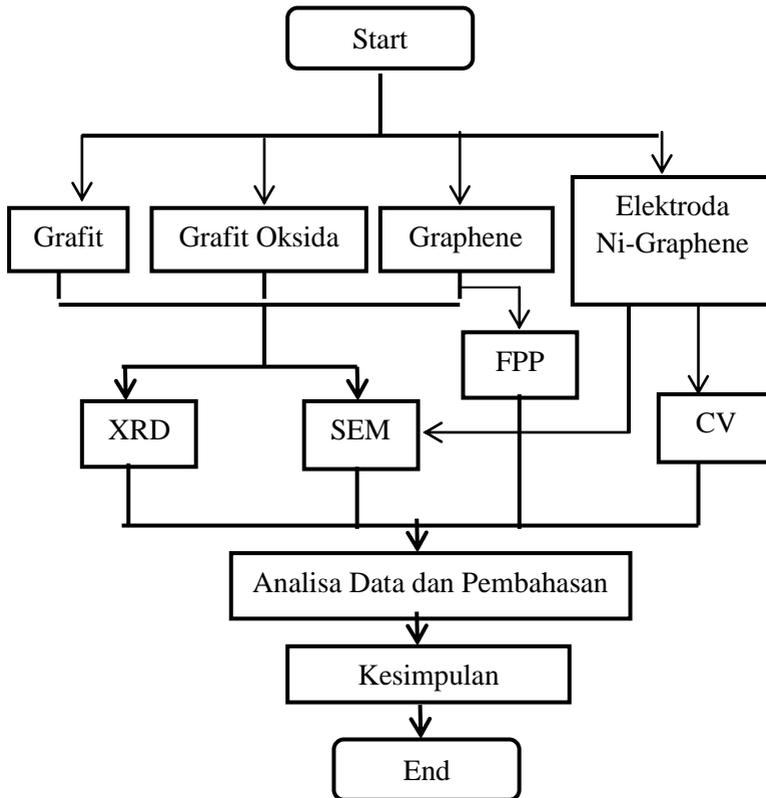
### 3.3.3 Pembuatan Elektroda Ni-graphene



**Gambar 3.3** Diagram alir sintesis elektroda Ni-graphene



### 3.3.4 Pengujian



**Gambar 3.4** Diagram alir pengujian

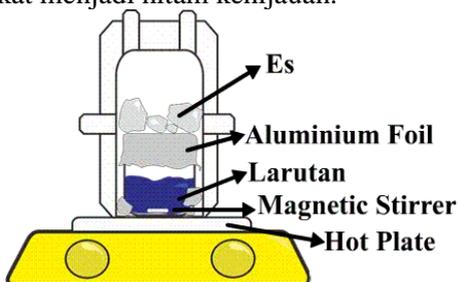
### III.4 Metode Penelitian

Proses pembuatan elektroda graphene dilakukan melalui tiga tahap, yaitu sintesis grafit oksida, sintesis graphene menggunakan metode hummer yang telah dimodifikasi dan pendepositan graphene pada nickel foam untuk membentuk elektroda.



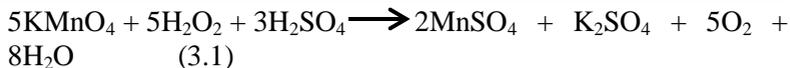
### 3.4.1 Sintesis Grafit Oksida

Grafit merupakan bahan baku dari pembuatan atau sintesa grafit oksida. Untuk mengoksidasi grafit memerlukan beberapa bahan selain serbuk grafit, yaitu larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), larutan natrium nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ), dan larutan kalium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ). Langkah awal untuk mensintesis grafit oksida yaitu dengan men-*stirring* 2 g grafit di dalam asam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% pada temperatur  $\pm 5^\circ\text{C}$  dalam *ice bath* selama 4 jam (dapat dilihat pada Gambar 3.5). Saat proses *stirring* telah berjalan 2 jam ditambahkan 4 g  $\text{NaNO}_3$  dan 8 g  $\text{KMnO}_4$  secara bertahap ke dalam larutan. Hal ini bertujuan agar serbuk  $\text{NaNO}_3$  dan  $\text{KMnO}_4$  terlarut homogen di dalam larutan. Kemudian ditambahkan  $\text{KMnO}_4$  ke dalam larutan menyebabkan perubahan warna larutan dari hitam pekat menjadi hitam kehijauan.



**Gambar 3.5** Proses *stirring* pada temperatur  $\pm 5^\circ\text{C}$  dalam icebath

Setelah itu larutan dikeluarkan dari *icebath* lalu dilanjutkan dengan *stirring* pada temperatur  $35^\circ\text{C}$  selama 20 jam. Setelah 20 jam, ditambahkan 200 ml aquades ke dalam larutan secara bertahap. Hal ini bertujuan agar larutan tidak menjadi solid dikarenakan terjadi penguapan pada larutan. Kemudian dilakukan men-*stirring* larutan selama 1 jam hingga menjadi homogen. Setelah itu ditambahkan  $\text{H}_2\text{O}_2$  untuk menghilangkan kandungan  $\text{KMnO}_4$  dalam larutan. Larutan berubah menjadi warna kuning seiring penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Reaksi yang terjadi saat ditambahkan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dalam larutan yaitu



Kemudian dilakukan proses *stirring* larutan selama 30 menit. Setelah itu dilakukan proses sentrifugasi dengan tujuan agar dapat memisahkan cairan kuning dengan padatan yang berwarna kuning. Kemudian dipindahkan padatan hasil sentrifugasi ke dalam gelas beaker. Setelah itu mencuci padatan tersebut dengan HCl 5% (0,01 M) untuk menghilangkan ion-ion logam yang tersisa. Kemudian dilakukan pencucian larutan dengan aquades secara berkala untuk menetralkan pH larutan. Adapun untuk mengetahui apakah ion sulfat telah hilang dan pH netral menjadi netral yaitu dengan titrasi BaCl<sub>2</sub> 1M. Apabila pH larutan menjadi netral dan tidak terdapat endapan putih pada larutan maka dilakukan proses *drying* pada temperatur 110<sup>0</sup>C selama 12 jam. Hasil proses *drying* tersebut yaitu grafit oksida

#### 3.4.2 Sintesis Graphene

Grafit Oksida merupakan bahan baku dari pembuatan atau sintesa graphene. Untuk memperoleh graphene, maka mereduksi grafit oksida dengan proses hidrotermal. Proses tersebut diawali dengan melarutkan 40 mg grafit oksida ke dalam 40 ml aquades. Larutan grafit oksida yang homogen dapat diperoleh dengan men-*stirring* larutan selama 1 jam. Setelah itu, dilakukan proses ultrasonikasi pada larutan selama 1,5 jam untuk mendapatkan *graphene* oksida (GO). Kemudian dilakukan proses reduksi graphene oksida dengan menambah agen pereduksi yaitu serbuk Zn sebanyak 1,6 g. Adapun dalam proses tersebut dapat terjadi pada kondisi lingkungan asam, sehingga perlu ditambahkan larutan HCl 35% sebanyak 10 ml. Kemudian ditambahkan larutan HCl saat gelembung hasil reaksi habis bereaksi sebanyak 10 ml HCl 35% disertai dengan men-*stirring* larutan tersebut. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan Zn yang tersisa. Setelah itu dilakukan pencucian larutan dengan aquades hingga pH menjadi netral. Adapun endapan yang terbentuk dimasukkan kedalam *autoclave* untuk dilakukan proses

---



---

*hydrothermal* dengan temperatur  $160^{\circ}\text{C}$  selama 12 jam. Hasil dari proses tersebut yaitu graphene.

#### 3.4.3 Sintesis Elektroda Ni-graphene

Bahan yang dibutuhkan untuk membuat elektroda yaitu larutan graphene dan nickel foam. Pembuatan larutan graphene yaitu dengan melarutkan graphene dalam aquades dengan perbandingan sebesar 1 mg graphene : 1 ml aquades, dan disertai dengan men-stirring larutan tersebut hingga homogen. Setelah itu, menimbang nickel foam dengan dimensi  $3 \times 1$  cm. Kemudian mencelupkan nickel foam ke dalam larutan graphene selama 30 menit dengan luas penampang tercelup  $1 \text{ cm}^2$ . Untuk meningkatkan kandungan graphene yang menempel pada nickel foam, maka melakukan proses ultrasonikasi. Adapun variasi lama waktu ultrasonikasi yaitu 30, 60, dan 90 menit. Kemudian dilakukan proses *drying* pada temperatur  $110^{\circ}\text{C}$  selama 12 jam. Setelah itu, nickel foam yang dihasilkan di *press* dan diukur massanya untuk mengetahui massa graphene yang menempel. Kemudian nickel foam graphene yang sudah menjadi elektroda dilanjutkan untuk melakukan pengujian CV (*Cyclic Voltammetry*) menggunakan larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

### III.5 Pengujian

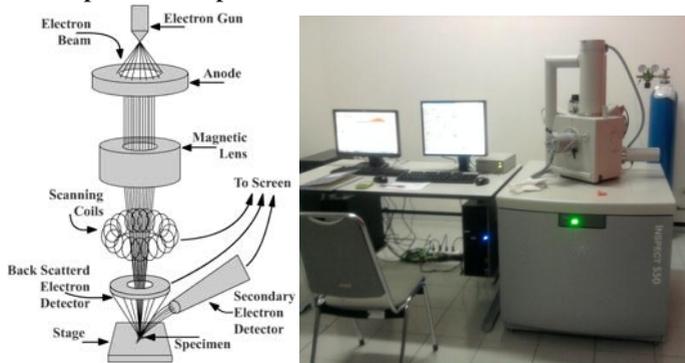
#### 3.5.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)

*Scanning electron microscopy* (SEM) adalah tipe mikroskop elektron yang menghasilkan Gambar dari suatu sampel dengan memindainya menggunakan pancaran elektron. Elektron berinteraksi dengan atom di dalam sampel sehingga menghasilkan berbagai sinyal yang memuat informasi tentang topografi permukaan dan komposisi dari sampel. SEM dapat mencapai resolusi lebih baik daripada 1 nm. Spesimen yang dapat diamati oleh SEM antara lain dalam keadaan vakum, sedikit vakum, dan kondisi basah dalam lingkungan SEM. Berbagai sampel dapat diamati dengan SEM, mulai dari logam, polimer, keramik, dan komposit. Sampel yang digunakan merupakan material konduktor, jika tidak konduktor maka akan dikonduktifkan

---



dengan lembaran karbon. SEM dapat memperbesar Gambar hingga perbesaran 100.000 kali karena memiliki resolusi mencapai 1,5 nm pada 30 kV.

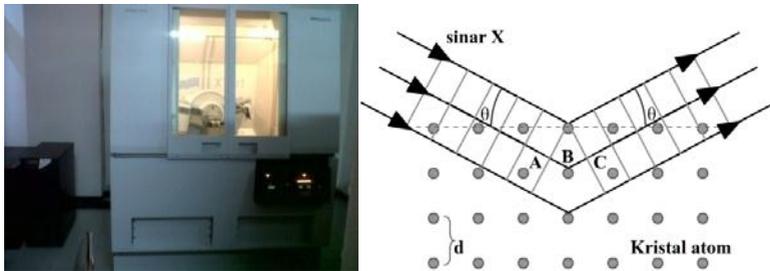


**Gambar 3.6** (a) Skema kerja SEM dan (b) SEM Inspect S50

Cara kerja dari SEM adalah dengan menembakkan elektron ke spesimen. Elektron yang dipancarkan diperkuat oleh kumparan dan difokuskan pada satu daerah oleh *fine probe*. Pancaran elektron yang mengenai spesimen akan dihamburkan dan ditangkap oleh *back scatter electron* (BSE) dan *secondary electron detector*. Kemudian hasilnya akan diterjemahkan di layar. Dengan adanya BSE maka akan tampak material yang ringan (berwarna terang) dan material yang berat (berwarna gelap). Skema kerja SEM dapat dilihat pada Gambar 3.6.

### 3.5.2 X-Ray Diffraction (XRD)

*X-ray diffraction* (XRD) adalah alat yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal dan fasa dari suatu material dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektronik sinar-X. Data XRD berupa intensitas dan besar sudut hamburan sinar. Instrumen XRD dapat dilihat pada Gambar 3.7.



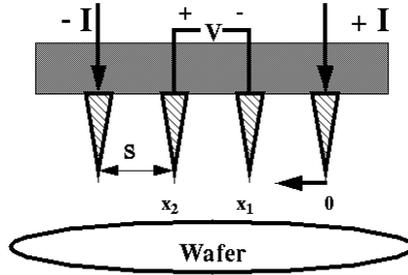
**Gambar 3.7** (a) Instrumen XRD PANalytical (b) Pola difraksi sinar x

Cara kerja dari mesin XRD adalah generator tegangan tinggi pada tabung sinar x akan menghasilkan sinar x. Sinar tersebut akan diarahkan ke permukaan sampel. Sinar yang mengenai permukaan sampel akan mengeksitasi elektron pada kulit terluar sehingga elektron yang hilang akan menempati daerah yang memiliki tingkat energi lebih selama transisi dan terjadilah radiasi sinar x. Sinar x akan dihamburkan dan ditangkap oleh detektor yang kemudian diterjemahkan dalam bentuk kurva intensitas dan sudut. Kondisi refleksi sinar x dirumuskan dalam persamaan Bragg (Mitchell, 2004) :

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (3.2)$$

### 3.5.3 Four Point Probe (FPP) Test

*Four point probe* (FPP) test adalah salah satu bentuk pengujian elektrik. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur resistivitas dari material semikonduktor. Pengujian ini dapat dilakukan untuk mengukur baik material yang berupa padatan maupun lapisan tipis. Pengujian FPP menggunakan empat batang logam tungsten dengan jari-jari tertentu. Setiap batang dipasang pegas untuk meminimalisir kerusakan sampel saat pengujian. Dua probe terluar memberikan sejumlah arus listrik, sedangkan dua probe bagian dalam mengukur tegangan listrik menggunakan voltmeter untuk mengetahui resistivitas sampel. Pengujian FPP dapat dilihat pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8** Pengujian FPP

Sebelum arus dialirkan (diberikan) melalui probe, keempat probe diturunkan sehingga menyentuh permukaan sampel. Setelah itu arus  $I$  dialirkan melalui probe 1 dan 4. Dengan cara seperti ini arus akan dialirkan / didistribusikan melalui sampel dari probe yang satu menuju probe yang satunya. Pada daerah dimana probe 2 dan 3 bersentuhan dengan sampel, tegangan diukur dengan voltmeter. Dari variasi perubahan arus yang diberikan, akan diperoleh perubahan tegangan yang diukur. Aliran arus pada probe 2 dan 3 sangat kecil dan dapat diabaikan sebab tegangan diukur dengan menggunakan voltmeter rintangan tinggi. Dari perubahan ini akan diperoleh nilai resistivity thin film bahan sampel berdasarkan persamaan 3.4

Ada dua persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai resistivitas tergantung jenis sampelnya, yaitu untuk spesimen tebal (*bulk sample*) dan berupa lembaran (*sheet*). Spesimen tebal memiliki ketentuan bahwa tebal spesimen harus lebih dari  $3/2$  jarak antar probe dan untuk tebal sampel lembaran harus kurang dari  $3/2$  jarak antar probe. Karena *graphene* merupakan material berupa lembaran tipis, maka mekanisme aliran arusnya membentuk pola menyerupai lingkaran seperti bola. Dengan bentuk bidang tersebut, luasan dapat diasumsikan  $A = 2\pi xt$ , dimana  $x$  adalah jari-jari bola dan  $t$  adalah tebal sampel. Untuk perhitungan resistivitas, penurunan rumusnya :

$$\Delta R = \int_{x_1}^{x_2} \rho \left( \frac{dx}{A} \right) = \int_s^{2s} \frac{\rho}{2\pi t} \left( \frac{dx}{x} \right) = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\rho}{2\pi t} \ln(x) \quad (3.3)$$



---

$$R = \frac{\rho}{2\pi t} \ln(2) \quad (3.4)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.5)$$

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln 2} \times \frac{V}{I} \quad (3.6)$$

Dimana :

$\rho$  : resistivitas ( $\Omega\text{cm}$ )

$t$  : tebal graphene (cm)

$V$  : tegangan output (Volt)

$I$  : arus listrik (Ampere)

Dari nilai resistivitas, dapat diketahui besar konduktivitas sampel dengan persamaan :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3.7)$$

Dimana :

$\sigma$  : konduktivitas (S/cm)

#### 3.5.4 Cyclic Voltametry (CV)

CV test adalah digunakan untuk mengetahui nilai kapasitansi dari elektroda *nickel foam-graphene*. Elektroda untuk pengujian ini dengan mendepositkan *graphene* ke dalam *nickel foam*. Lama waktu pendepositasi *graphene* dalam *nickel foam* dengan variasi 30, 60, 90, dan 120 menit. Larutan yang digunakan untuk pengujian elektroda *nickel foam-graphene* yaitu  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1M. *Potential window* yang digunakan dalam pengujian CV ini yaitu 0-0,8 V. Hal ini dilakukan karena menyesuaikan rentang potensial kerja kapasitor. Instrumen yang digunakan adalah AUTOLAB PG STAT 302 METHROM (Netherland), dengan *counter electrode* Pt 99.99999% dan elektroda referensi Ag/AgCl.

Prinsip kerja voltametri adalah dengan memberikan sejumlah beda potensial sehingga akan terukur besar sesuai dengan polarografi dari sampel elektroda yang digunakan. Dalam CV, nilai kapasitansi juga dipengaruhi oleh reaksi redoks. Reaksi ini terjadi karena sampel bereaksi dengan elektrolit yang kuat sehingga nilai kapasitansi yang terbaca, tidak murni milik sampel. Untuk itu perlu menggunakan sampel dan elektrolit yang tepat jika ingin menghindari redoks pada sampel.

---



Konsep hubungan antara pengujian ini dengan penyimpanan muatan pada sampel adalah saat alat memberikan sejumlah potensial, maka sejumlah muatan akan menempel pada permukaan aktif elektroda kerja. Dari sejumlah muatan yang menempel tersebut, akan terbaca berapa besar arus yang mengalir dengan kondisi beda potensial yang berbeda. Hasil yang diperoleh pada pengujian ini yaitu grafik *cyclic voltammetry*. Untuk menghitung besarnya kapasitansi spesifik digunakan persamaan di bawah ini. Di samping itu, hasil dari CV juga menggambarkan sifat kapasitif elektrokimia dari elektroda kerjanya.

$$C = \frac{\int i \, dV}{2 w \gamma \Delta E} \quad (3.8)$$

Dimana :

- C : Kapasitansi spesifik (Farad/gr)
- I : Arus (Ampere)
- w : Massa Elektroda Grafena (gr)
- $\gamma$  : Scan Rate (mV/s)
- $\Delta E$  : Potential Window (Volt)

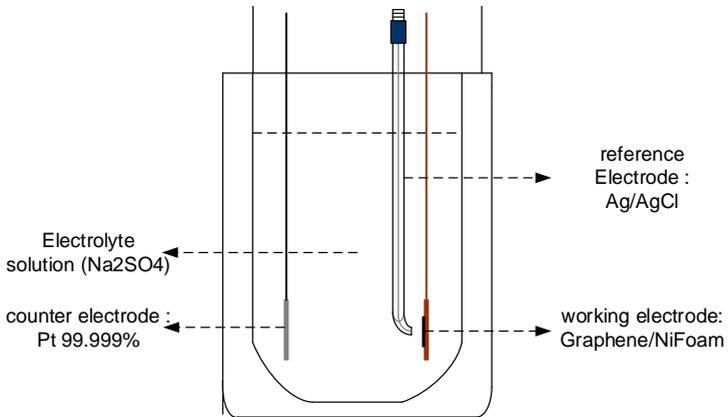
Dari hasil pengujian CV juga dapat diketahui nilai Densitas Energi (E) dan Densitas Power (P) dengan menggunakan rumus di bawah ini.

$$E = 0,5 \times C \times (\Delta V)^2 \quad (3.9)$$

$$P = \frac{E}{t} \quad (3.10)$$

Dimana :

- E : Densitas Energi (Wh/kg)
- C : Kapasitansi (Farad/gr)
- $(\Delta V)$  : Potential Window (Volt)
- P : Densitas Power (W/kg)
- t : Waktu discharge (sekon)



**Gambar 3.9** Pengujian Nilai Kapasitansi Elektroda Graphene/Ni-Foam

### III.6 Rancangan Penelitian

Pada penelitian aplikasi *graphene* untuk elektroda superkapasitor dilakukan perencanaan sebagai berikut

**Table 3.1** Rancangan Penelitian

Material	Lama waktu ultrasonikasi deposit <i>graphene</i> pada Nickel Foam (menit)	SEM	XRD	FPP	CV
Elektroda Nickel Foam-Graphene	30				
	60				
	90				
Graphene					
Grafit Oksida					
Grafit					

### III.7 Jadwal Kegiatan

Jadwal kegiatan untuk penelitian ini dilaksanakan seperti pada Tabel dibawah,

**Table 3.2** Jadwal Kegiatan

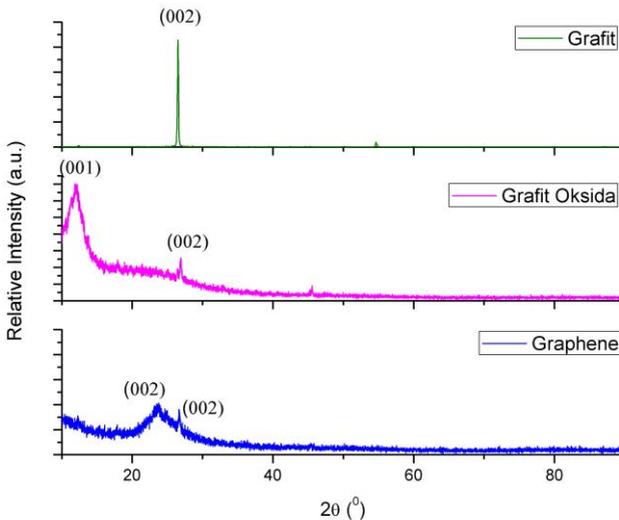
No	Kegiatan	Bulan 1			Bulan 2			Bulan 3			Bulan 4			
1	Studi Literatur													
2	Pembuatan Proposal Tugas Akhir													
3	Asistensi ke Dosen Pembimbing													
4	Pengujian													
5	Pengujian SEM													
6	Analisis Data dan Pembahasan													
7	Pembuatan Laporan Tugas Akhir													



## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### IV.1 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD dilakukan pada sampel grafit, grafit oksida, dan graphene. Alat yang digunakan dalam pengujian yaitu XRD Phillip Analytical dengan parameter sudut  $2\theta = 5^{\circ}$ - $90^{\circ}$  dengan panjang gelombang Cu-K $\alpha$  1.54060 Å. Dalam pengujian ini ditujukan untuk mengetahui perbedaan posisi puncak dari sampel dimana merupakan indikasi perubahan struktur pada dari material grafit hingga menjadi graphene. Gambar 4.1 menjelaskan perbandingan hasil uji XRD pada sampel grafit, grafit oksida, dan graphene.



**Gambar 4.1** Perbandingan hasil XRD pada sampel grafit, grafit oksida, graphene

Dari Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan posisi puncak pada sampel grafit, grafit oksida, dan



graphene. Pada sampel grafit terdapat puncak (002) pada posisi  $2\theta = 26.53^{\circ}$  dengan nilai dari  $d_{\text{spacing}}$  sebesar 3.36 Å dan nilai intensitas yang dicapai sebesar 40827.01 dengan bentuk puncak yang tajam. Hasil XRD pada grafit tersebut menunjukkan bahwa sifat kristalinitas grafit sangat baik. Setelah proses oksidasi pada grafit maka grafit berubah menjadi grafit oksida. Puncak dari grafit oksida berbeda dengan grafit yaitu berubah menjadi puncak (001) pada posisi  $2\theta = 12.21^{\circ}$  dengan nilai  $d_{\text{spacing}}$  yang lebih besar menjadi 7.33 Å. Adapun nilai intensitas nya menurun menjadi sebesar 697. Perubahan posisi puncak, nilai  $d_{\text{spacing}}$  dan intensitas dipengaruhi oleh gugus-gugus fungsional oksigen yang diakibatkan oleh proses oksidasi dalam material grafit. Hasil dari pengujian ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Pei, 2015, dimana gugus-gugus oksigen membentuk lapisan atom hidrofilik yang menjadikan grafit oksida mudah larut dalam air. Pada hasil XRD grafit oksida masih terdapat grafit pada posisi  $2\theta = 26.9^{\circ}$  dengan intensitas sebesar 119.

Untuk mendapatkan graphene maka diperlukan proses reduksi grafit oksida menggunakan agen pereduksi salah satunya yaitu dengan material Zn. Adapun hasil XRD dari graphene berada pada puncak (002) posisi  $2\theta = 23.72$  dengan nilai  $d_{\text{spacing}} = 3.75$  Å dan nilai intensitas nya sebesar 185. Adapun nilai intensitasnya menurun dibandingkan dengan grafit dan grafit oksida. Hal ini terjadi karena jumlah layer graphene semakin berkurang dengan ditunjukkan oleh nilai  $d_{\text{spacing}}$  yang menurun diakibatkan proses *chemical exfoliation* (pengelupasan kimia) dan struktur kristal graphene yang cenderung mempengaruhi struktur amorf. Pada hasil XRD graphene masih terdapat grafit pada posisi  $2\theta = 26.68^{\circ}$  dengan intensitas sebesar 180.



**Tabel 4.1** Hasil perhitungan nilai  $d_{\text{spacing}}$  dari sampel grafit, grafit oksida, dan graphene

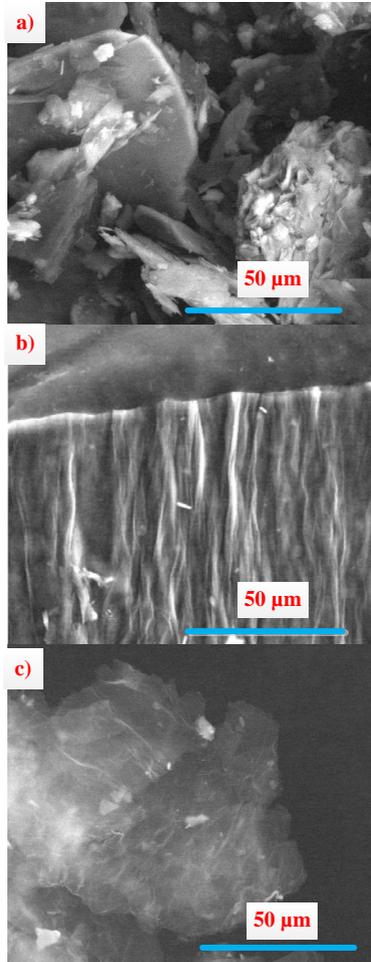
No	Sampel	$d_{\text{spacing}}$ (Å)
1	Grafit	3.36
2	Grafit Oksida	7.33
3	Graphene	3.75

Berdasarkan persamaan 3.2 diperoleh nilai  $d_{\text{spacing}}$  pada Tabel 4.1 dimana peningkatan  $d_{\text{spacing}}$  (jarak antar layer) terlihat dari sampel grafit ke grafit oksida. Sudah dijelaskan sebelumnya bahwa hal ini disebabkan oleh gugus fungsional dari oksigen. Untuk nilai  $d_{\text{spacing}}$  dari graphene mendekati nilai dari grafit. Hal ini dapat terjadi karena proses reduksi dari grafit oksida itu sendiri dimana reduksi tersebut menghilangkan gugus oksigen. Adapun hasil dari struktur graphene hanya berisi atom karbon sebagaimana grafit. Namun, nilai jarak antar layer dari graphene lebih besar dibandingkan grafit, hal ini mengindikasikan bahwa sedikit gugus fungsional yang tersisa.

#### **IV.2 Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)**

Pengujian SEM dilakukan pada sampel grafit, grafit oksida, graphene, dan elektroda nickel foam-graphene (Ni-graphene) dengan variasi waktu ultrasonikasi (pendepositan) graphene 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Alat yang digunakan dalam pengujian SEM yaitu INSPECT S50.

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dari sampel-sampel tersebut. Pada Gambar 4.2 ditunjukkan perbedaan permukaan morfologi dari sampel grafit, grafit oksida, dan graphene.



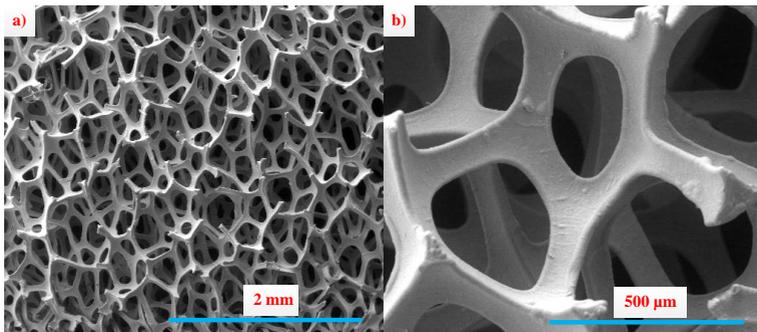
**Gambar 4.2** Perbandingan hasil SEM dengan perbesaran 2500x pada sampel a) grafit b) grafit oksida c) graphene

Berdasarkan Gambar 4.2a terlihat bahwa grafit memiliki morfologi dengan bentuk serupa sepihan atau flakes yang ukurannya kecil, menyebar, dan tidak beraturan. Setelah grafit mengalami oksidasi menjadi grafit oksida, maka morfologi yang



terjadi menjadi lembaran-lembaran berlapis sehingga terlihat tebal seperti yang ditunjukkan Gambar 4.2b. Kemudian grafit oksida mengalami reduksi menjadi graphene. Pada Gambar 4.2c terlihat lembaran-lembaran sangat tipis dari graphene yang terbentuk akibat pelupusan (*chemical exfoliation*) grafit oksida.

Pengujian SEM juga dilakukan pada sampel elektroda nickel foam-graphene (Ni-graphene) untuk mengetahui morfologi persebaran graphene yang telah didepositkan pada nickel foam. Pada gambar 4.3 menunjukkan gambar nickel foam dengan bentuk seperti sponge atau rongga. Dengan bentuk rongga ini, nickel foam menjadi media dalam pendepositan material yang nantinya berfungsi sebagai pengumpul arus agar material deposit dapat dengan mudah bereaksi dengan elektrolit dan meningkatkan luas area kontak.



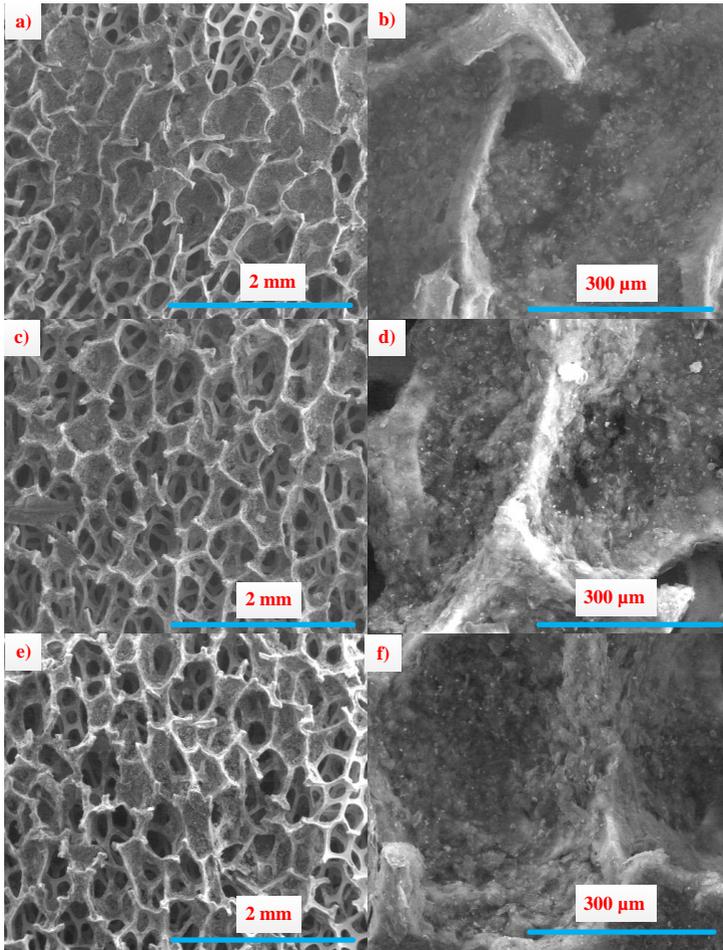
**Gambar 4.3** Hasil SEM nickel foam dengan perbesaran  
a) 75x b) 500x

Elektroda nickel foam-graphene (Ni-graphene) adalah elektroda nickel foam yang didepositkan graphene. Graphene yang disintesis dari grafit masuk ke dalam rongga nickel foam. Adapun Gambar 4.4 menunjukkan morfologi Ni-graphene dengan variasi waktu ultrasonikasi 30 menit, 60 menit, dan 90 menit.

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa graphene terdeposit ke dalam nickel foam. Graphene terlihat mengisi rongga sebagian nickel foam dengan perbesaran yang lebih tinggi. Rongga yang



tidak terisi graphene, berfungsi sebagai akses ion-ion elektrolit agar dapat masuk ke dalam elektroda.



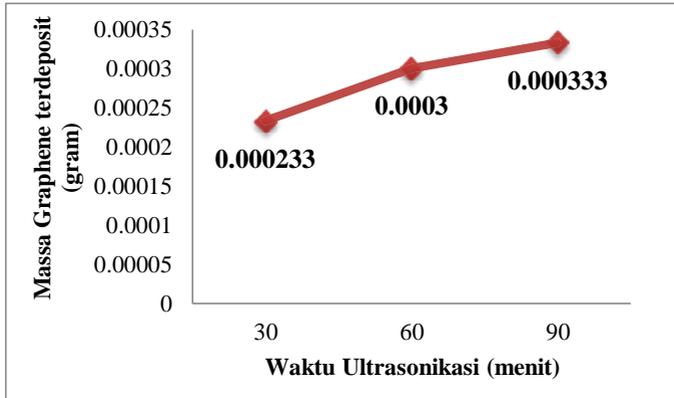
**Gambar 4.4** Perbandingan hasil SEM Ni-graphene dengan perbesaran 75x dan 500x dengan variasi ultrasonikasi a) 30 menit (A-B) b) 60 menit (C-D) c) 90 menit (E-F)



Perbedaan variasi dari waktu ultrasonikasi terlihat pada distribusi atau persebaran graphene pada nickel foam. Pada Gambar 4.4a menunjukkan waktu ultrasonikasi graphene selama 30 menit. Dalam Gambar tersebut graphene persebaran atau homogenisasi kurang merata pada rongga nickel foam yang ditunjukkan dengan tidak penuhnya graphene mengisi rongga tersebut. Bila ditinjau dari massa graphene yang terdeposit dalam nickel foam hanya sebesar 0.000233 gram. Untuk waktu ultrasonikasi 60 menit pada Gambar 4.4b menunjukkan persebaran graphene pada rongga nickel yang lebih merata. Namun ada sedikit celah rongga nickel foam yang tidak terisi sempurna oleh graphene. Dengan ultrasonikasi yang lebih lama yaitu 60 menit, massa graphene yang terdeposit pada nickel foam sebesar 0.000300 gram. Pada Gambar 4.4c menunjukkan waktu ultrasonikasi graphene selama 90 menit. Dalam Gambar tersebut, graphene persebaran sempurna pada rongga nickel foam ditunjukkan dengan tidak ada lagi celah kosong dalam rongga tersebut. Hal ini terjadi dikarenakan massa graphene yang terdeposit dalam nickel foam lebih banyak yaitu sebesar 0.000333 gram. Dari Gambar 4.5 menunjukkan adanya kenaikan massa graphene yang terdeposit dalam nickel foam terhadap waktu ultrasonikasi graphene. Dengan semakin lama waktu ultrasonikasi graphene maka massa graphene yang terdeposit pada nickel foam menjadi besar pula. Dengan massa graphene yang besar maka distribusi pada rongga nickel foam semakin merata.

**Tabel 4.2** Perbandingan hasil massa graphene terdeposit terhadap waktu ultrasonikasi

No	Waktu Ultrasonikasi (Menit)	Massa Graphene Terdeposit (gram)
1	30	0.000233
2	60	0.000300
3	90	0.000333



**Gambar 4.5** Grafik massa graphene terdeposit terhadap waktu ultrasonikasi

#### IV.3 Pengujian *Four Point Probes* (FPP)

Pengujian FPP dilakukan pada sampel graphene, dan elektroda nickel foam. Tujuan dari pengujian FPP ialah untuk mengetahui nilai konduktivitas listrik dari sampel tersebut. Pada table 4.3 menunjukkan nilai konduktivitas listrik pada sampel graphene dan elektroda nickel foam

**Tabel 4.3** Hasil perhitungan uji FPP

Sampel	Tebal (cm)	Hambatan ( $\Omega$ )	Resistivitas ( $\Omega$ cm)	Konduktivitas listrik (S/cm)
Graphene	0.015	$4.3 \times 10^3$	292.186	0.0034
Nickel Foam	0.05	3.8	0.860	1.16

Nilai konduktivitas diperoleh dari persamaan 3.9 dan 3.10 dengan hasil real pada saat pengujian yaitu nilai tegangan output dan arus output. Pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa konduktivitas dari graphene sebesar 0.0034 S/cm. Berdasarkan penelitian Zhong dkk 2009, nilai konduktivitas graphene sebesar  $2 \times 10^3$  S/cm. Perbedaan nilai tersebut juga dapat dianalisa dari gambar SEM



---

4.3c, dimana SEM yang seharusnya dimiliki oleh graphene yaitu lembaran tipis seluruhnya, bukan hanya sebagian seperti yang ditunjukkan gambar tersebut. Hal ini dapat terjadi dikarenakan oleh proses sintesa graphene yang tidak sempurna. Adapun nilai konduktivitas listrik dari nickel foam sebesar 1.16. Dengan nilai tersebut maka nickel foam dapat dijadikan sebagai substrat atau media graphene sebagai fungsi elektroda Ni-graphene.

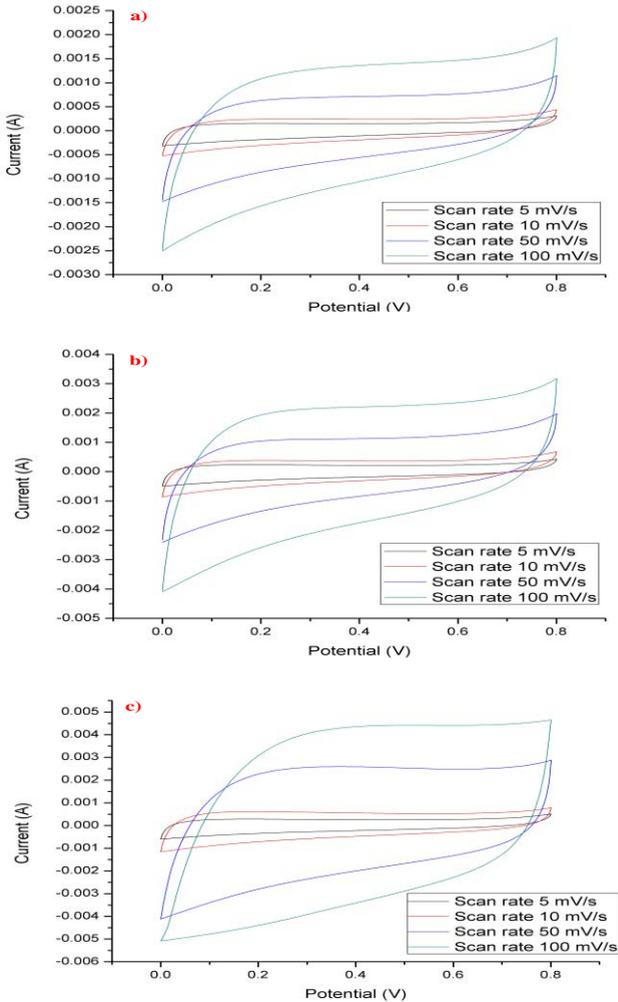
#### **IV.4 Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV)**

Pengujian CV dilakukan pada sampel Ni-graphene dengan waktu ultrasonikasi 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Alat yang digunakan dalam pengujian CV yaitu AUTOLAB PG STAT 302 METHROM dengan reference electrode Ag/AgCl dan counter electrode Pt 99,999%. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui nilai kapasitansi dari graphene dengan media current electron nickel foam.

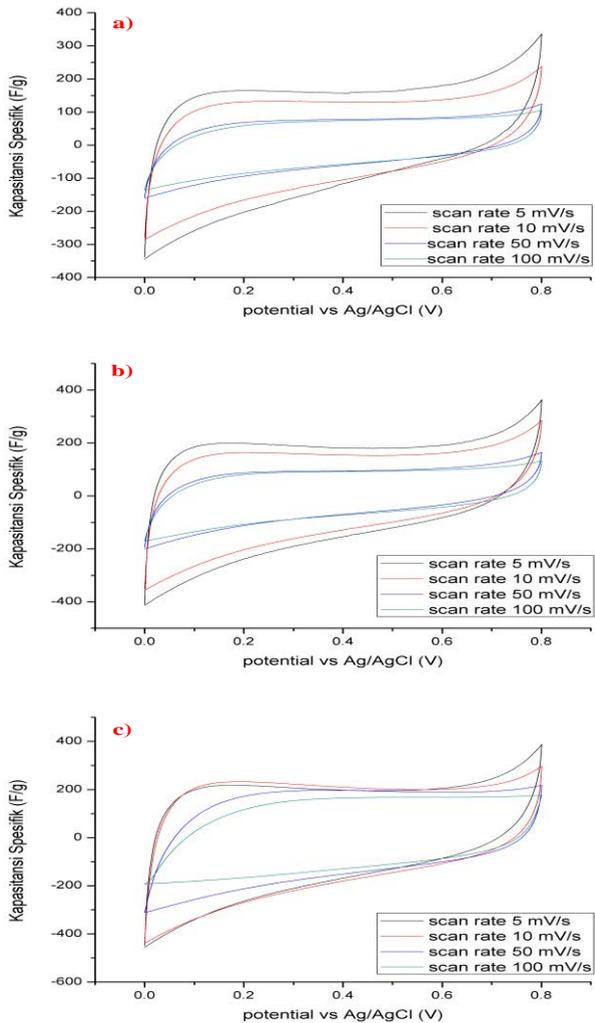
##### **IV.4.1 Elektroda Ni-Graphene**

Elektroda Ni-Graphene merupakan elektroda graphene yang didepositkan ke dalam nickel foam. Adapun sifat graphene yang hidrofob mengakibatkan sukarnya menempel ke dalam media nickel foam sehingga perlu adanya ultrasonikasi agar pendepositan graphene ke dalam nickel foam dapat maksimal. Dalam penelitian ini digunakan variasi waktu ultrasonikasi yaitu 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Hasil pengujian CV untuk Ni-graphene 30 menit, 60 menit dan 90 menit pada kurva I vs E dan F/g vs E ditunjukkan oleh Gambar 4.6 dan Gambar 4.7

---



**Gambar 4.6** Perbandingan hasil uji CV grafik I vs E sampel elektroda Ni-graphene pada waktu ultrasonikasi a) 30 menit, b) 60 menit, c) 90 menit



**Gambar 4.7** Perbandingan hasil uji CV grafik F/g vs E sampel elektroda Ni-graphene pada waktu ultrasonikasi  
a) 30 menit, b) 60 menit, c) 90 menit



Penggunaan elektrolit netral dari  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  pada potensial kerja 0-0.8 V tidak menghasilkan gundukan (hump) Gambar 4.6 dan Gambar 4.7. Adapun gundukan (hump) merupakan indikator terjadinya reaksi redoks atau efek pseudocapacitance. Adapun yang terjadi dalam pengujian yaitu pembentukan double capacitor.

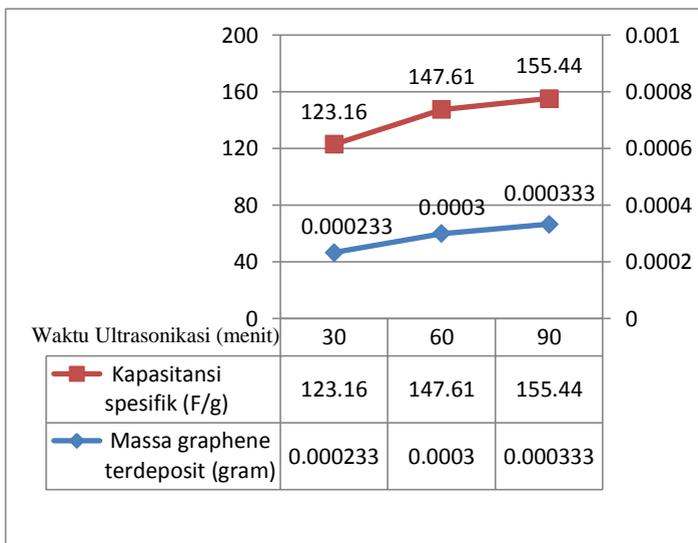
Pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 menunjukkan bentuk cycle simetris dan membentuk karakteristik double capacitor. Elektroda Ni-graphene variasi waktu ultrasonikasi selama 30 menit memiliki kurva dengan bentuk miring ke atas dengan nilai kapasitansi nya sebesar 123.16 F/g pada scan rate 5mV/s. Nilai kapasitansi didapat dari perhitungan pada persamaan 3.3. Elektroda Ni-graphene variasi waktu ultrasonikasi selama 60 menit memiliki kurva dengan bentuk lebih rectangular dibandingkan variasi 30 menit dan luas area lebih besar. Adapun nilai kapasitansi nya sebesar 147.61 F/g pada scan rate 5 mV/s. Elektroda Ni-graphene variasi waktu ultrasonikasi selama 90 menit memiliki kurva dengan bentuk paling rectangular dengan luas area kurva yang lebih kecil daripada elektroda variasi 60 menit. Nilai kapasitansi dari elektroda tersebut yaitu 155.44 F/g pada scan rate 5 mV/s.

Adapun nilai kapasitansi yang dihasilkan dari sampel elektroda nickel foam tersebut berhubungan erat dengan massa graphene yang terdeposit di dalamnya. Nilai kapasitansi paling besar terdapat pada waktu ultrasonikasi 90 menit yaitu 155.44 F/g (scan rate 5 mV/s). Massa yang terdeposit pada elektroda tersebut yaitu 0.000333 gram. Dengan waktu ultrasonikasi lebih rendah yaitu 60 menit menghasilkan nilai kapasitansi sebesar 147.61 F/g. Adapun massa yang terdeposit tersebut yaitu 0.000300 gram. Sedangkan dengan waktu ultrasonikasi 30 menit menghasilkan 123.16 F/g. Massa yang terdeposit pada elektroda tersebut yaitu 0.000233 gram. Untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.8



**Tabel 4.4** Perbandingan hasil massa graphene terdeposit terhadap nilai kapasitansi spesifik (scan rate 5 mV/s)

No	Waktu Ultrasonikasi (Menit)	Massa Graphene Terdeposit (gram)	Kapasitansi Spesifik (F/g)
1	30	0.000233	123.16
2	60	0.000300	147.61
3	90	0.000333	155.44



**Gambar 4.8** Grafik massa graphene terdeposit terhadap kapasitansi spesifik

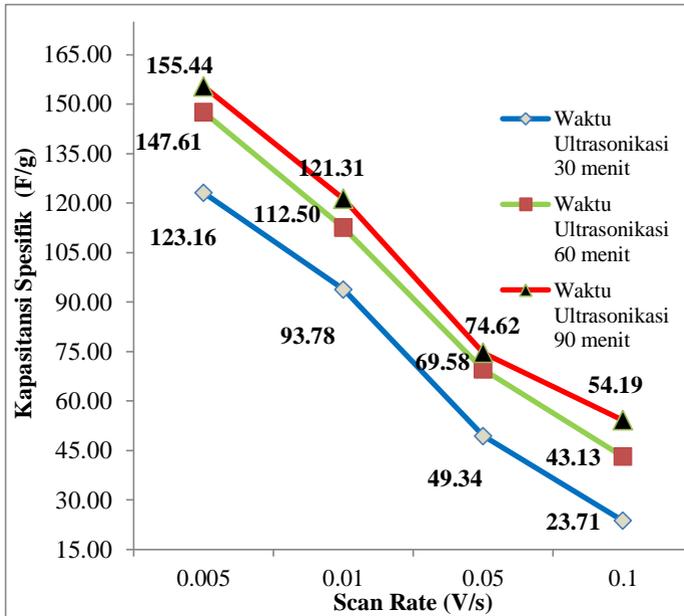
Pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 menunjukkan bahwa scan rate semakin tinggi maka nilai kapasitansinya menurun. Hal ini terjadi karena scan rate mempengaruhi laju aliran ion-ion dari elektrolit menuju ke dalam elektroda Ni-graphene. Dengan scan rate yang tinggi maka laju aliran tegangan menjadi cepat,



akibatnya waktu yang lebih singkat bagi ion-ion elektrolit untuk berdifusi ke dalam Ni-graphene sehingga membentuk double layer sedikit. Sedangkan pada scan rate yang rendah, laju aliran tegangan menjadi lambat, akibatnya waktu bagi ion-ion elektrolit untuk berdifusi ke dalam Ni-graphene lebih lama dan membentuk double layer lebih banyak. Adapun dalam pengujian ini menggunakan potensial kerja 0-0,8 V atau maksimum kerjanya 800 mV/s. Bila dianalisa berdasarkan perhitungan, maka dengan scan rate 100 mV/s maka waktu difusi ion-ion elektrolit ke dalam Ni-graphene hanya 8 detik. Sedangkan dengan scan rate 5 mV/s, waktu difusi ion-ion elektrolit tersebut sebesar 160 detik lebih besar dari penggunaan dengan scan rate 100 mV/s. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kapasitansi Ni-graphene dipengaruhi oleh waktu difusi ion-ion elektrolit. Berikut Tabel hasil perhitungan nilai kapasitansi Ni-graphene dengan variasi waktu ultrasonikasi dan scan rate pada Tabel 4.5

**Tabel 4.5** Perbandingan hasil kapasitansi spesifik terhadap scan rate dan waktu ultrasonikasi

Sampel	Waktu Ultrasonikasi (Menit)	Scan Rate (V/s)	Kapasitansi Spesifik (F/g)
1	30	0.005	123.16
		0.01	93.78
		0.05	49.34
		0.1	30.80
2	60	0.005	147.61
		0.01	112.5
		0.05	69.58
		0.1	43.13
3	90	0.005	155.44
		0.01	121.31
		0.05	74.62
		0.1	54.19



**Gambar 4.9** Grafik Kapasitansi spesifik terdeposit terhadap scan rate dan waktu ultrasonikasi

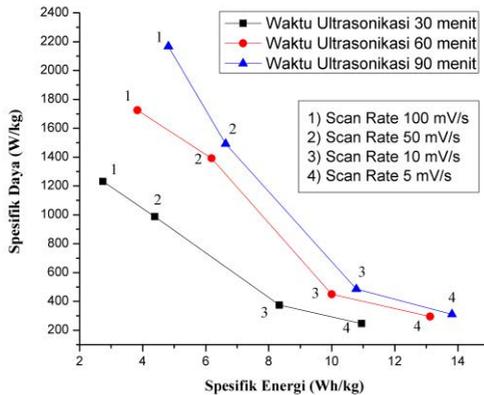
Pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa nilai kapasitansi meningkat dipengaruhi oleh nilai scan rate, yaitu dengan semakin tinggi scan rate maka nilai kapasitansi menjadi kecil. Untuk lebih mempermudah analisa maka dapat ditunjukkan melalui Gambar 4.9

Nilai kapasitansi hasil dari pengujian CV juga dapat digunakan untuk menentukan nilai energi spesifik dan daya spesifik dengan menggunakan persamaan 3.4 dan 3.5 Hasil Tabel perhitungan spesifik energi dan spesifik daya ditunjukkan oleh Tabel 4.6 dan Gambar 4.10. Adapun nilai spesifik energi dan spesifik daya yang paling besar pada scan rate 100 mV/s dan menurun dengan turunnya nilai scan rate.



**Tabel 4.6** Perbandingan hasil Energi spesifik dan daya spesifik terhadap scan rate dan waktu ultrasonikasi

Sampel	Waktu Ultrasonikasi (Menit)	Scan Rate (V/s)	Spesifik Energi (Wh/kg)	Spesifik Daya (W/kg)
1	30	0.005	10.9	246.3
		0.01	8.3	375.1
		0.05	4.3	986.7
		0.1	2.7	1232.1
2	60	0.005	13.1	295.2
		0.01	10.0	450.0
		0.05	6.1	1391.6
		0.1	3.8	1725.0
3	90	0.005	13.8	310.8
		0.01	10.7	485.2
		0.05	6.6	1492.5
		0.1	4.8	2167.5



**Gambar 4.10** Grafik perbandingan nilai spesifik daya dan spesifik energi



---

Pada Tabel 4.6 menunjukkan tren dari pengaruh waktu ultrasonikasi terhadap nilai kapasitansi spesifik pada elektroda Ni-graphene. Nilai kapasitansi spesifik tertinggi diperoleh pada waktu ultrasonikasi graphene 90 menit kemudian menurun pada waktu ultrasonikasi 60 menit dan 30 menit. Telah diterangkan pada subbab sebelumnya bahwa waktu ultrasonikasi mempengaruhi persebaran atau homogenisasi dan massa graphene pada nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan.

Penggunaan waktu ultrasonikasi 90 menit, yaitu larutan graphene dipaksa untuk mengisi rongga-rongga dari media pengumpul arus yaitu nickel foam menggunakan media ultrasonikasi selama 90 menit. Dengan waktu ultrasonikasi 90 menit mampu memberikan persebaran atau distribusi atau homogenisasi dari graphene pada nickel foam yang paling baik ditunjukkan pada uji SEM. Persebaran tersebut mampu mengisi rongga-rongga nickel foam secara menyeluruh. Hal ini berbeda dengan penggunaan waktu ultrasonikasi 60 menit dan 30 menit dimana persebaran graphene pada nickel foam belum sempurna. Graphene pada waktu ultrasonikasi tersebut tidak mengisi rongga-rongga nickel foam secara merata atau ada celah kosong di rongga tersebut.

Dengan persebaran yang paling baik pada waktu ultrasonikasi 90 menit menghasilkan nilai kapasitansi yang paling tinggi sebesar 155.44 F/g. Nilai tersebut lebih besar bila dibandingkan dengan nilai kapasitansi yang dihasilkan pada waktu ultrasonikasi 60 menit sebesar 147.16 F/g dan dengan waktu ultrasonikasi 30 menit sebesar 123.16 F/g. Bila diurutkan terkait perbandingan persebaran dan nilai kapasitansi yang paling tinggi yaitu waktu ultrasonikasi 90 menit > 60 menit > 30 menit. Waktu ultrasonikasi graphene yang lebih lama memberikan pengaruh persebaran atau distribusi atau homogenitas yang merata. Bila homogenitas graphene pada nickel foam tinggi maka akan meningkatkan nilai kapasitansi dari elektroda Ni-graphene. Hal ini sangat sesuai dengan penelitian Genish dkk (2015), yaitu

---

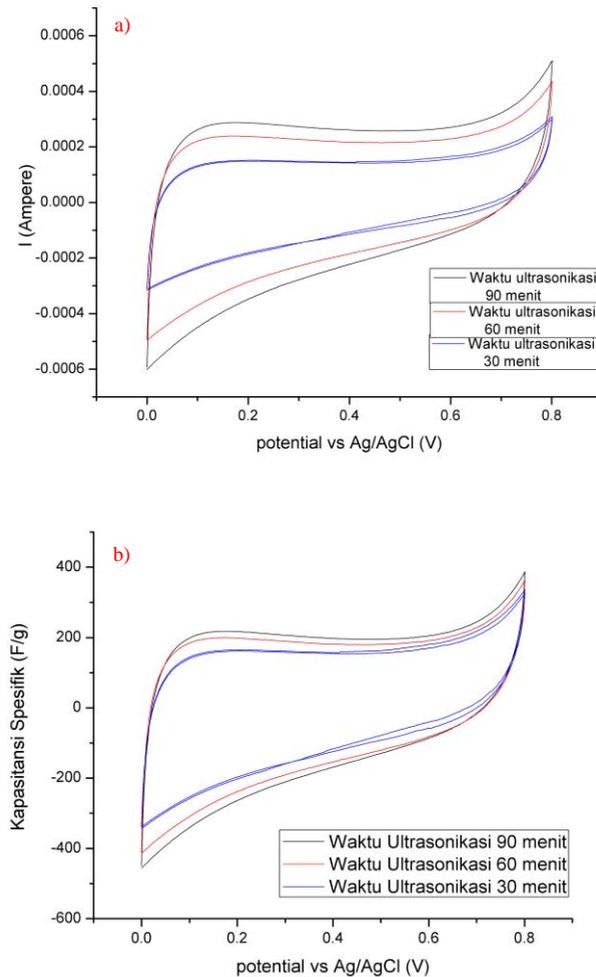


dengan semakin homogen deposit graphene maka akan meningkatkan nilai kapasitansi nya.

Nilai kapasitansi hasil pengujian CV berasal dari perhitungan persamaan 3.3 yaitu dengan perbandingan luasan I dV dan massa graphene terdeposit pada nickel foam. Dengan waktu ultrasonikasi 90 menit, graphene yang terdeposit paling banyak sebesar 0.000333 gram dan menghasilkan nilai kapasitansi spesifik yang paling besar pula. Hal ini dipengaruhi oleh luasan  $\int I dV$  yang dihasilkan juga besar. Adapun nilai kapasitansi yang diperoleh sebesar 155.4 F/g. Nilai kapasitansi ini menurun seiring dengan massa graphene yang terdeposit lebih sedikit dan luasan I dV yang dihasilkan juga lebih kecil pada waktu ultrasonikasi 60 menit dan 30 menit. Berikut nilai dari perbandingan luasan I dV dan massa graphene terdeposit terhadap nilai kapasitansi Ni-graphene.

**Tabel 4.7** Perbandingan Nilai Luasan I dV dan massa graphene terhadap kapasitansi spesifik

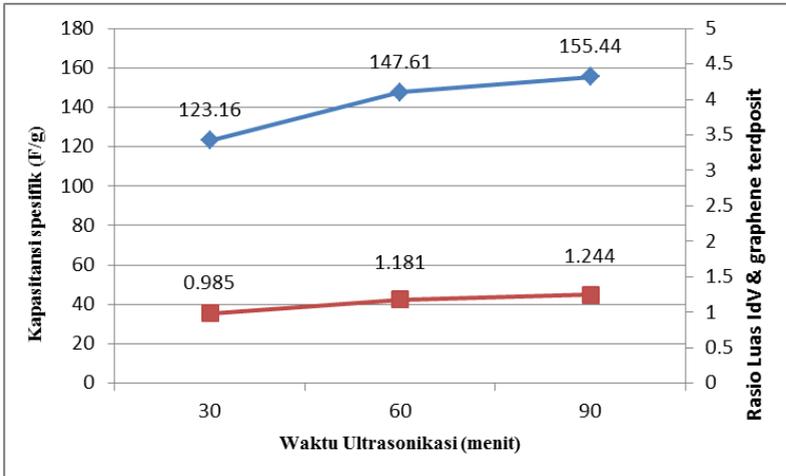
Waktu Ultrasonikasi (menit)	Luasan $\int I dV$	Massa graphene terdeposit ( $\times 10^{-4}$ gram)	Rasio $\int I dV$ & Massa graphene terdeposit	Kapasitansi spesifik (F/g)
30	$2.29 \times 10^{-3}$	2.333	0.985	123.16
60	$3.54 \times 10^{-3}$	3.0	1.181	147.61
90	$4.14 \times 10^{-3}$	3.333	1.244	155.44



**Gambar 4.11** Perbandingan hasil uji CV pada waktu ultrasonikasi 30 menit, 60 menit, dan 90 menit (scan rate 5 mV/s), a) I terhadap E, b) F/g terhadap E



Untuk analisa yang lebih mengerucut lagi bahwa besar nilai kapasitansi superkapasitor berpengaruh dari rasio luas I dV dan graphene terdeposit. Penjelasan analisa tersebut terdapat pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.12** Grafik perbandingan rasio luas I dV dan graphene terdeposit terhadap nilai kapasitansi superkapasitor pada scan rate 5 mV/s

Berdasarkan Gambar 4.12, dengan semakin tinggi nilai rasio antara luas I dV dan graphene terdeposit maka semakin besar nilai kapasitansi superkapasitor. Dengan rasio 1.244 menghasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 155.44 F/g pada waktu ultrasonikasi 90 menit (scan rate 5 mV/s). Rasio yang lebih kecil yakni 1.181 dan 0.985, berturut-turut menghasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 147.61 F/g dan 123.16 F/g pada waktu ultrasonikasi 60 menit dan 30 menit (scan rate 5 mV/s). Semakin besar nilai rasio maka semakin tinggi nilai kapasitansi superkapasitor graphene.

Hongwei dkk (2015) menganalisa penggunaan graphene sebagai elektroda EDLC dengan metode spray drying, dihasilkan



---

nilai kapasitansi spesifik nya sebesar 72 F/g. Bu dkk (2015) menganalisa penggunaan ZnO/graphene sebagai superkapasitor, dihasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 95 F/g. Januar dkk (2015) menganalisa penggunaan Ni-Graphene dengan metode Hummer sebagai aplikasi superkapasitor, dihasilkan kapasitansi spesifik sebesar 125.87 F/g. Nilai kapasitansi spesifik yang diperoleh pada penelitian ini jauh lebih baik sebesar 155.44 F/g dibandingkan dengan tiga penelitian sebelumnya.

---

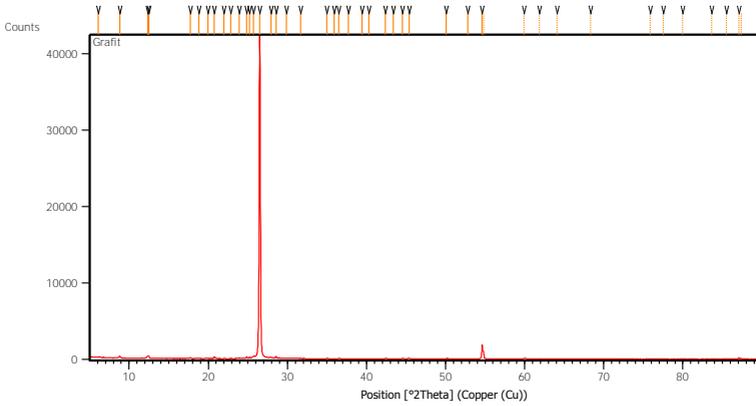


*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# LAMPIRAN

## XRD GRAFIT

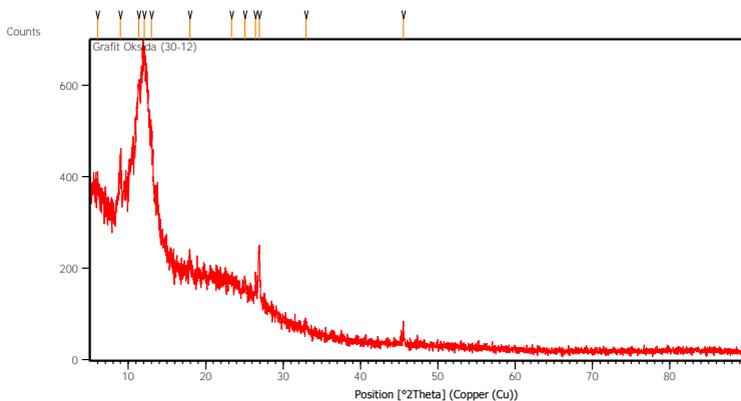


### Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.1202	150.94	0.4015	14.44149	0.37
8.8076	247.22	0.1338	10.04018	0.61
12.3441	334.44	0.0669	7.17055	0.82
12.4908	312.12	0.0502	7.08663	0.76
17.7068	105.36	0.1171	5.00913	0.26
18.7846	81.90	0.1004	4.72408	0.20
19.9298	34.63	0.2342	4.45512	0.08
20.7692	179.30	0.0836	4.27693	0.44
21.9844	16.89	0.2676	4.04320	0.04
22.8487	30.24	0.4015	3.89217	0.07
23.8976	106.53	0.0502	3.72366	0.26
24.8381	277.28	0.0836	3.58476	0.68
25.2032	217.04	0.1338	3.53364	0.53
25.6770	277.42	0.2676	3.46951	0.68

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
26.5322	40827.01	0.1673	3.35958	100.00
27.9098	201.90	0.1673	3.19681	0.49
28.5995	253.19	0.1171	3.12127	0.62
29.8544	93.05	0.2342	2.99287	0.23
31.6424	52.51	0.1004	2.82771	0.13
34.9953	73.98	0.1338	2.56409	0.18
35.8834	24.70	0.3346	2.50265	0.06
36.4909	97.01	0.1673	2.46236	0.24
37.7230	29.61	0.3346	2.38473	0.07
39.4516	50.39	0.1673	2.28413	0.12
40.2737	49.57	0.1338	2.23938	0.12
42.3831	79.55	0.1338	2.13268	0.19
43.3944	20.32	0.3346	2.08530	0.05
44.5326	103.22	0.2007	2.03461	0.25
45.3725	103.63	0.2007	1.99888	0.25
50.0884	100.87	0.0669	1.82118	0.25
52.8364	20.10	0.4015	1.73275	0.05
54.6094	1686.71	0.1428	1.67923	4.13
54.8084	829.52	0.0816	1.67776	2.03
59.9205	134.65	0.1224	1.54245	0.33
61.8591	10.36	0.9792	1.49868	0.03
64.0541	18.25	0.2448	1.45252	0.04
68.2923	48.84	0.1224	1.37233	0.12
75.9066	9.38	0.6528	1.25248	0.02
77.5121	27.01	0.4080	1.23050	0.07
79.9742	11.13	0.6528	1.19869	0.03
83.6168	35.88	0.2448	1.15549	0.09
85.5085	15.65	0.4896	1.13470	0.04
87.0619	180.95	0.1632	1.11841	0.44
87.3400	101.79	0.1224	1.11833	0.25

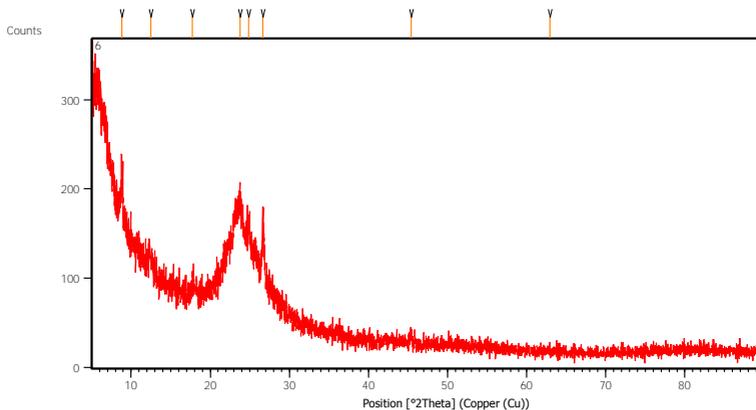
## XRD GRAFIT OKSIDA



### Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.0143	109.78	0.8029	14.69551	27.43
8.9886	168.11	0.2007	9.83839	42.01
11.3285	335.70	0.4015	7.81102	83.89
12.0692	400.15	0.6691	7.33325	100.00
13.0071	215.99	0.2676	6.80649	53.98
17.9334	45.84	0.1338	4.94634	11.46
23.3663	7.92	0.5353	3.80711	1.98
25.0291	23.25	0.4015	3.55783	5.81
26.4478	51.60	0.1004	3.37012	12.89
26.9094	119.15	0.2007	3.31334	29.78
32.9830	12.43	0.4015	2.71578	3.11
45.5481	43.24	0.1338	1.99158	10.80

## XRD GRAPHENE



### Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8.8115	59.94	0.1673	10.03570	85.62
12.4997	9.76	0.8029	7.08162	13.94
17.7456	13.33	0.6691	4.99825	19.04
23.7765	68.39	0.5353	3.74235	97.69
24.8815	47.84	0.4015	3.57860	68.35
26.6686	70.00	0.2007	3.34271	100.00
45.4018	11.25	0.3346	1.99766	16.07
62.9440	11.26	0.1004	1.47666	16.08

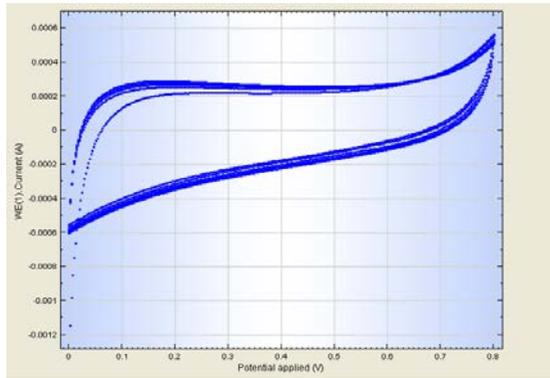
## CYCLIC VOLTAMMETRY

### ❖ WAKTU ULTRASONIKASI 90 MENIT

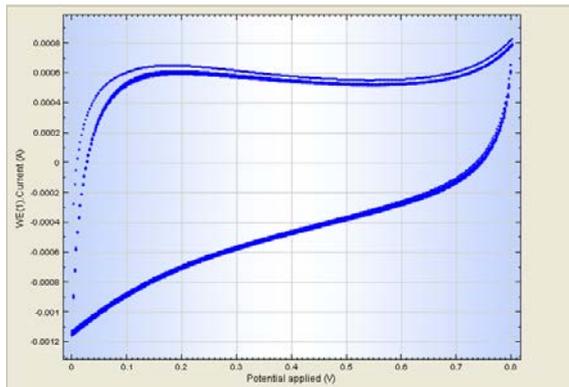
Larutan elektrolit :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Voltase : 0.0 – 0.8 V

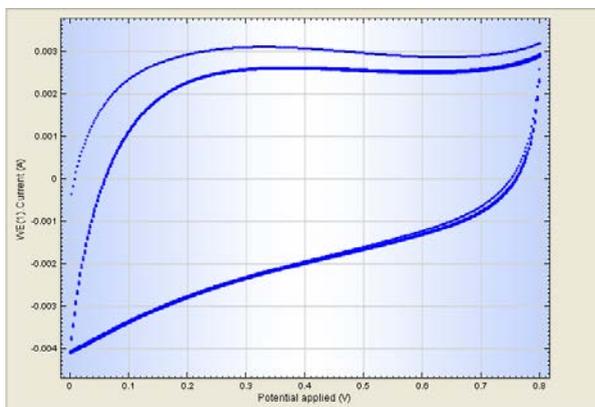
Counter Electrode : Platina



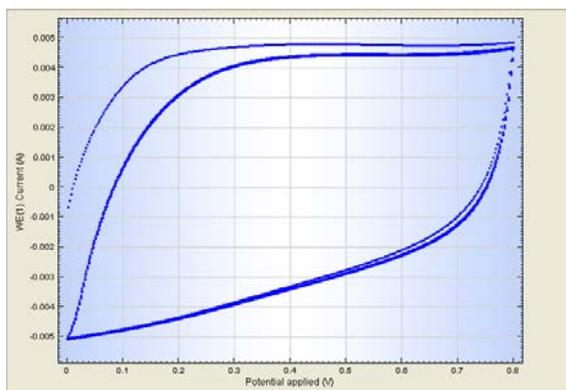
Scan Rate 5 mV/s



Scan Rate 10 mV/s



Scan Rate 50 mV/s



Scan Rate 100 mV/s

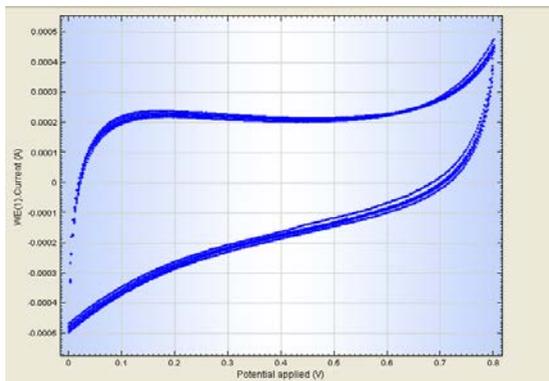
## CYCLIC VOLTAMMETRY

### ❖ WAKTU ULTRASONIKASI 60 MENIT

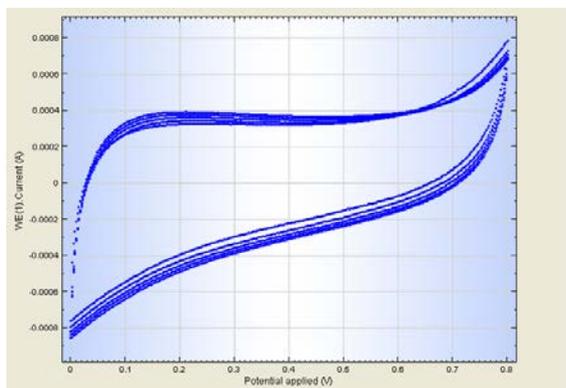
Larutan elektrolit :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Voltase : 0.0 – 0.8 V

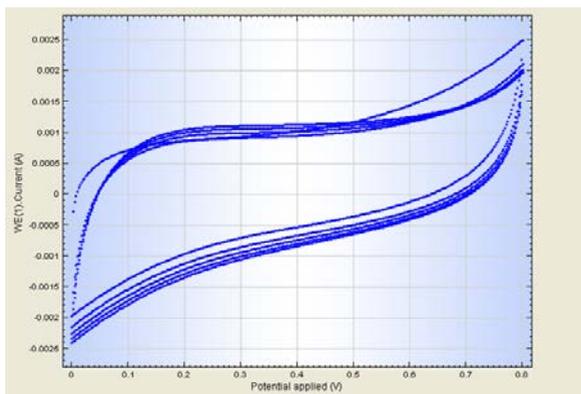
Counter Electrode : Platina



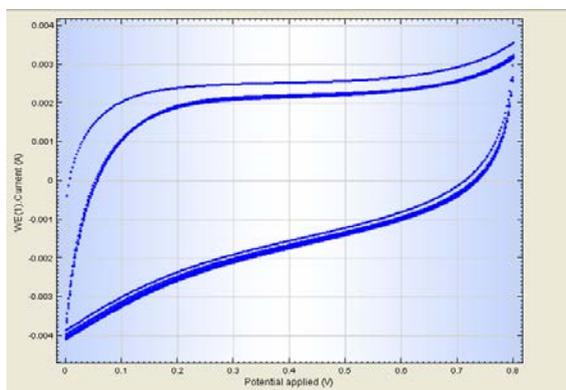
Scan Rate 5 mV/s



Scan Rate 10 mV/s



Scan Rate 50 mV/s

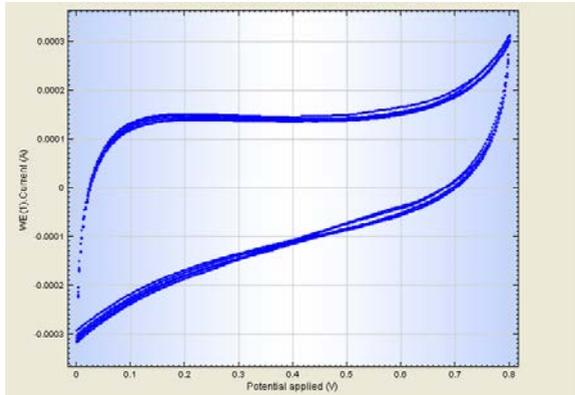


Scan Rate 100 mV/s

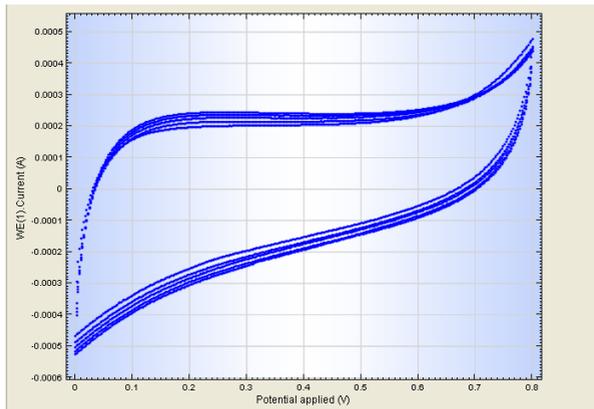
## CYCLIC VOLTAMMETRY

❖ **WAKTU ULTRASONIKASI 30 MENIT**

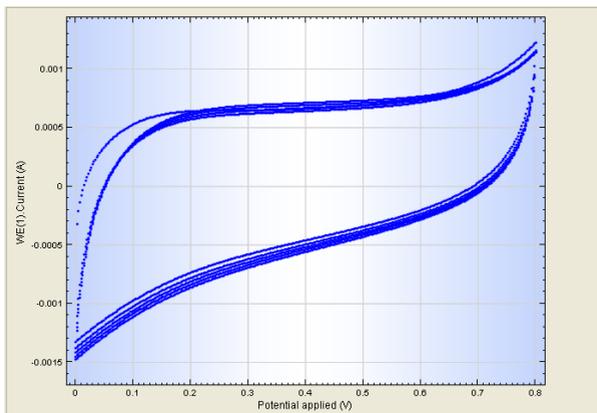
Larutan elektrolit :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$   
Voltase : 0.0 – 0.8 V  
Counter Electrode : Platina



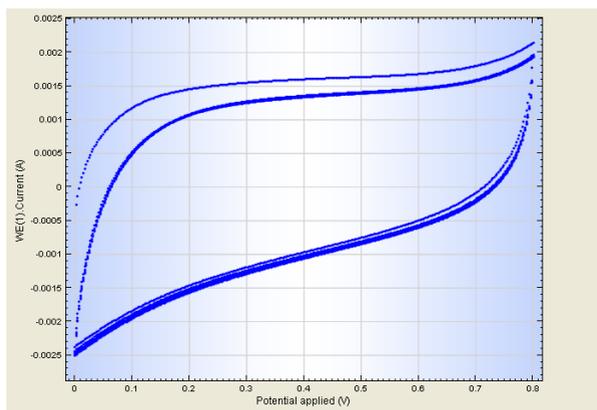
Scan Rate 5 mV/s



Scan Rate 10 mV/s



Scan Rate 50 mV/s



Scan Rate 100 mV/s

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Material elektroda berbahan graphene telah berhasil disintesa dengan modifikasi metode Hummer. Aplikasi superkapasitor dapat diaplikasikan dengan metode ultrasonikasi graphene pada nickel foam. Pada penelitian ini menunjukkan tren positif dengan semakin lama nya waktu ultrasonikasi meningkatkan graphene yang terdeposit di dalam rongga nickel foam. Dengan penggunaan waktu ultrasonikasi hingga 90 menit, nilai kapasitansi meningkat, dengan kapasitansi spesifik tertinggi yang diperoleh sebesar 155.44 F/g pada sampel Ni-graphene yang diultrasonikasi selama 90 menit.

#### **V.2 Saran**

Saran untuk penelitian yang telah dilakukan mengenai studi pengaruh lama deposisi terhadap nilai kapasitansi elektroda graphene sebagai superkapasitor dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Meningkatkan ketelitian dalam proses reaksi di masing-masing tahapan pembuatan graphene agar dapat menghasilkan graphene sesuai yang diinginkan tanpa ada pengotor sedikitpun.
2. Menambahkan variasi waktu ultrasonikasi yang lebih lama untuk mendapatkan waktu ultrasonikasi optimum dalam pendepositan graphene pada nickel foam



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*





## DAFTAR PUSTAKA

- Basu, S. dan P. Bhattacharyya. March 2012. "Recent developments on graphene and graphene oxide based solid state gas sensors". **Sensors and Actuators B** 173: 1-21
- Byrappa, K., Masahiro Yoshimura. 2001. Handbook of Hydrothermal Technology "A Technology for **Crystal Growth and Materials Processing**". Norwich, New York, U.S.A: William Andrew Publishing, Llc
- Choi, Wonbong. Lee, Jo-won. 2012. "**Graphene: Synthesis and Application**". United States : CRC Press
- Dreyer Daniel R. Sungjin Park, Christopher W. Bielawski, Rodney S. Ruoff.2010."The **Chemistry of Graphene Oxide**".Chem.Soc. Rev.39: 228-240
- Entegris INC. 2013. "*Properties and characteristics of graphite*". New York: **Entegris INC**
- Halper, Marin S., dan James C. Ellenbogen. 2006. "*Supercapacitor: A Brief Overview*". Mc Lean Virginia : Mitre
- Ilhami, R, dan Susanti, D. 2014. "Pengaruh massa Zn dan temperatur hydrothermal terhadap struktur dan sifat elektrik material graphene". Surabaya: Tugas Akhir, ITS
- Jang-Hoon Ha, P. Muralidharan, dan Do Kyung Kim. August 2008. "Hydrothermal synthesis and characterization of self-assembled h-WO<sub>3</sub> nanowires/nanorods using EDTA salts". **Journal of Alloys and Compounds** 475: 446-451

- Junaidi, M dan Susanti, D. 2014. “Pengaruh Variasi Waktu Ultrasonikasi dan Waktu Tahan Proses Hydrothermal Terhadap Struktur dan Konduktivitas Elektrik Material Graphene”. **Tugas Akhir S1 Teknik Material dan Metalurgi ITS**
- K.S.Novoselov,A. K. Geim, “Electric field effect in atomically thin carbon films”, **Science** 306 (2004), pp. 666–669.
- Kotz R M, Carlen M.2000. “Principles and Application of Electrochemical Capacitors”. **Pergamon** 45: 2483-2498
- Le Linh T, Ervin Matthew H, Qiu Hongwei, Puchs Brian E, Lee Woo Y.2011. “Graphene Supercapacitor Electrodes Fabricated By Inkjet Printing And Thermal Reduction Of Graphene Oxide”. **Elsevier** 13: 355-358
- Liu, Panbo, Ying Huang, dan Lei Wang. 2013. “*A facile synthesis of reduced graphene oxide with Zn powder under acidic condition*”. **Materials Letters** 91: 125-128
- Luo Jiayan, Core Laura J, Tung Vincent C, Tan Alvin T L, Goins Phillip E, Wu Jinsong, Huang Jiaxing.2010. “Graphene Oxide Nanocolloids”. **JACS** 132: 176678-17669
- Mei, Xiufeng, Xiuqing Meng, dan Fengmin Wu. 2015. “*Hydrothermal method for he production of reduced graphene oxide*”. **Physica E** 68: 81-86
- Moseley P T, Garche Juergen. 2014, “Electrochemical Energy Storage For Renewable Sources and Grid Balancing”.

- Murata America Co. Ltd. 2013. “*High Performance Electrical Double Layer Capacitor.*” **Smyrna**: Murata Electronic
- Novoselov, K.S., A.K., Geim, S.V., Morozov, D., Jiang, M.I., Katsnelson, I.V., Grigorieva, S.V., Dubonos, dan A.A., Firsov, 2005a. *Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene*. **Nature** 438: 197–200.
- Owen C. Compton dan Son Binh T. Nguyen. March 2010. “Graphene Oxide, Highly Reduced Graphene Oxide, and Graphene: Versatile Building Blocks for Carbon-Based Materials”. **Small Graphene** 6: 711-723
- Pradita J H, dan Susanti, D. 2015. “Analisa Pengaruh Massa Zinc dan Jenis Larutan Elektrolit Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor”. Surabaya: **Tugas Akhir**, ITS
- Shao G, Yonggen L, Fangfang W, Changling Y, Fanlong Z, Qilin Wu.2012.”**Graphene Oxide: The Mechanism of Oxidation and Exfoliation**”.*J Mater Sci* 47:4400-4409
- Shaolin Yang, Bingchen Deng, Ruijing Ge, Li Zhang, Hong Wang, Zihan Zhang, Wei Zhu, Guanzhong Wang. June 2014. “Electrodeposition of porous graphene networks on nickel foams as supercapacitor electrodes with high capacitance and remarkable cyclic stability”. **Nanoscale Research Letters** 9: 672
- Schneuwly A, Gallay R.2000. “Properties and application of supercapacitors from the state-of-the art to future trends”. **Proceeding PCIM**
- Selverston, Steven M.2011. “Supercapacitor Electrodes Based On Graphene Materials”. **E200W**

- Sengupta R, Bhattacharya M, Bandyopadhyay S, Bhowmick Anil K. 2011. "A review on the mechanical and electrical properties of graphite and modified graphite reinforced polymer composites". **Polymer Science** 36: 638-670
- Teng Z, Qingzhong X, Shuai Z, dan Mingdong Dong. May 2012. "Theoretical approaches to graphene and graphene-based materials". **Nano Today** 7: 180-200
- Terrones, Mauricio. (2010) Graphene and Graphite Nanoribbons : Morphology, Properties, Synthesis, Defect and Applications. **Nano Today** 5, 351-372
- Virendra S, Daeha J, Lei Z, Soumen D, Saiful I. Khondaker, dan Sudipta Seal. April 2011. "Graphene based materials: Past, present and future". **Progress in Materials Science** 56: 1178-1271
- Yanwu Z, Shanthi M, Weiwei C, Xuesong L, Ji Won S, Jeffrey R. Potts, dan Rodney S. Ruoff. June 2010. "Graphene and Graphene Oxide: Synthesis, Properties, and Applications". **Advanced Material** 22: 3906-3924
- Yong Zhou, Qiaoliang Bao, Lena Ai Ling Tang, Yulin Zhong, dan Kian Ping Loh. April 2009. "Hydrothermal Dehydration for the "Green" Reduction of Exfoliated Graphene Oxide to Graphene and Demonstration of Tunable Optical Limiting Properties". **Chemistry of Material** 21: 2950-2956
- Yoon, H. J., Jun, D. H., Yang, J.H., Zhou, Z., Yang, S. S., Cheng, M. M. (2010), "Carbon Dioxide Gas Sensor Using A Graphene Sheet", *Sensor and Actuators B: Chemical*, Hal. 310-311

Zhong Shuai W., Wencai Ren., Libo Gao., Jinping Zhao, Zongping Chen, Bilu Liu, Daiming Tang, Bing Yu, Chuanbin Jiang, and Hui-Ming Cheng. (2009), “**Synthesis of Graphene Sheets with High Electrical Conductivity and Good Thermal Stability by Hydrogen Arc Discharge Exfoliation**”, *American Chemical Society*, Hal. 411-417

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



Penulis yang bernama lengkap Albertus Septyantoko lahir di kota Lumajang, pada tanggal 08 September 1993. Penulis merupakan putra bungsu dari dua bersaudara Alm. Bapak Mateus Suratijo dan Ibu Marjilah Agustina. Adapun penulis menempuh pendidikan formalnya dimulai dari SD Pembangunan PG Djatiroto (2000-2006), SMPN 1 Jatiroto (2006-2009), SMA 2 Lumajang (2009-2012). ITS merupakan kampus pilihan bagi Penulis untuk mengembangkan diri dan keilmuan. Adapun penulis

menjadi mahasiswa ITS melalui jalur SNMPTN undangan dan memilih jurusan Teknik Material dan Metalurgi menjadi tempat mengemba ilmu. 2712100014 merupakan NRP yang diberikan untuk penulis selama menjalani perkuliahan selama 4 tahun (2012-2016). Selain menjalani rutinitas perkuliahan, penulis pun juga aktif dalam organisasi kampus, yaitu menjadi kepala departemen dalam negeri FTI ITS tahun 2014-2015. Aplikasi keilmuan juga sudah dilakukan penulis dengan menjalani Kerja Praktek di PT. AT Indonesia selama 3 bulan. Sebagai ikhtisar, penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Pengaruh Lama Waktu Deposisi Pada Elektroda Graphene Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor” di bawah bimbingan dosen Diah Susanti, S.T, M.T, Ph.D dan Hariyati Purwaningsih, S.Si, M.Si. Adapun penulis nantinya dapat dihubungi melalui,

email : septyantoko.albertus@gmail.com  
nomor telepon : +6281231738197