

Analisis Pengaruh Massa Reduktor Zinc terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Material *Graphene*

Rahman Faiz Suwandana dan Diah Susanti

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: santiche@mat-eng.its.ac.id

Abstrak— Material *graphene* merupakan material inovatif yang memiliki kristal berupa lapisan dua dimensi. Kristal terdiri dari hibridisasi sp^2 atom karbon dan membentuk struktur heksagonal serta memiliki luas permukaan spesifik sangat tinggi, mencapai $1500 \text{ m}^2/\text{gram}$. Dengan luas permukaan tersebut, *graphene* sangat cocok digunakan sebagai bahan elektroda pada kapasitor elektrokimia karena alat tersebut bekerja berdasarkan luas permukaan untuk proses charging-discharging. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis komposisi massa reduktor zinc agar didapat *graphene* dengan kapasitansi listrik terbaik. Grafit dioksidasi menjadi grafit oksida melalui metode Hummer. Grafit oksida yang diperoleh dilarutkan dalam aquades dan diultrasonikasi selama 90 menit sehingga diperoleh *graphene* oksida (GO). GO kemudian direduksi dengan menambahkan Zinc (Zn) sebanyak 0,8 gram, 1,6 gram, dan 2,4 gram. Proses selanjutnya *hydrothermal* selama 12 jam pada temperatur 160°C . X-Ray Diffraction (XRD) untuk mengetahui perbandingan jarak antar layer dan kristalinasi grafit, *graphene* oksida dan *graphene*. Scanning Electron Microscope (SEM) untuk menganalisis morfologi *graphene*. Four Point Probe (FPP) untuk mengukur konduktivitas listrik *graphene*, dan Cyclic Voltametry (CV) untuk mengukur kapasitansi elektroda nickel foam-*graphene*.

Kata Kunci— Grafit, Grafit oksida, *Graphene* oksida, *Graphene*, Metode *hydrothermal*, Metode Hummer.

I. PENDAHULUAN

Tidak bisa dipungkiri bahwa semakin banyaknya populasi manusia di bumi, akan semakin banyak pula teknologi dan sumber energi yang dipakai. Pada era global ini, banyak sekali isu mengenai energi bermunculan, mulai dari sumber energi baru, terobosan energi alternatif, sampai pengembangan media penyimpanan energi. Media penyimpan energi yang dipakai pada alat elektronik sehari-hari adalah baterai dan kapasitor. Selama ini baterai memang dianggap efektif untuk menjadi sumber daya bagi alat yang membutuhkan voltase rendah. Namun, terdapat kelemahan jika sering dipakai maka baterai akan mengalami *voltage drop*. Adanya superkapasitor yang dipasang pada baterai akan meningkatkan performa dan umur pakai baterai.

Superkapasitor merupakan terobosan yang menarik di bidang energi karena piranti ini memiliki kapasitas penyimpanan yang jauh lebih besar dari kapasitor biasa, proses pengisian muatan yang cepat, serta tahan lama. Prinsip kerja dari superkapasitor ini adalah memanfaatkan bahan-bahan yang

memiliki permukaan aktif sangat luas sebagai pengisi elektroda sehingga bisa meningkatkan performanya.

Salah satu material yang banyak dikembangkan saat ini adalah *graphene*. *Graphene* adalah salah satu keluarga unsur karbon, yang A. K. Geim dan K. S. Novoselov pada tahun 2004. Para fisikawan, kimiawan, dan ilmuwan material saat ini telah berfokus pada aplikasi dari *graphene* untuk beberapa bidang penelitian dan industri karena memiliki sifat yang sangat baik antara lain mobilitas elektron yang tinggi ($\sim 10.000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$), efek Quantum Hall pada temperatur ruang, transparansi optik yang baik (97,7%), luas permukaan spesifik yang besar ($2.630 \text{ m}^2/\text{g}$), modulus Young yang tinggi ($\sim 1 \text{ TPa}$), dan konduktivitas panas yang tinggi ($\sim 3000 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) [1].

Pada tahun 2014, *graphene* berhasil disintesis menggunakan metode Hummer dengan melakukan variasi pada waktu ultrasonikasi dan waktu tahan proses *hydrothermal* dan mendapatkan hasil *graphene* yang memiliki konduktifitas listrik terbaik (0.00021 S/cm) dengan waktu ultrasonikasi 120 menit dan waktu tahan *hydrothermal* 12 jam [2]. Pada tahun yang sama, *graphene* juga berhasil disintesis dengan metode Hummer dan reduksi Zn dan melakukan variasi pada waktu ultrasonikasi dan temperatur Hidrotermal terhadap sifat kapasitif *graphene*. Hasil yang didapatkan adalah sifat kapasitansi tertinggi diperoleh pada waktu ultrasonifikasi 90 menit dan temperatur *hydrothermal* 160°C yaitu sebesar $491,36 \text{ F/gr}$ [3].

Penelitian ini membahas mengenai hasil sintesis *graphene* dengan metode reduksi *graphene* oksida dan pengaruhnya terhadap struktur, konduktivitas, serta kapasitansi listrik material *graphene* ketika digunakan sebagai elektroda kerja. Proses reduksi GO menggunakan reduktor serbuk Zn yang divariasikan jumlah massanya.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sintesis Grafit Oksida

Inti dari proses sintesis grafit oksida adalah mengoksidasi grafit sehingga menjadi grafit oksida. Metode yang digunakan untuk mensintesis grafit oksida dalam penelitian ini adalah modifikasi Metode Hummer. Metode ini menggunakan berbagai reaksi kimia untuk mengoksidasi grafit menjadi grafit oksida.

Proses sintesis dimulai dengan melarutkan 2 g grafit di dalam 80ml H_2SO_4 98%. Proses pelarutan ini dalam kondisi *stirring* di dalam *ice bath* untuk menjaga temperatur di bawah 25 °C selama 1 jam. Lalu ditambahkan 4 g NaNO_3 dan 8 g KMnO_4 secara bertahap dengan selang 5 menit di tiap penambahannya kemudian *stirring* dilanjutkan selama 2 jam. Pada proses penambahan ini maka larutan akan berubah warna, yang sebelumnya berwarna hitam pekat menjadi hitam kehijauan. Hasil dari reaksi tersebut adalah ion permanganat yang merupakan oksidator kuat. Oksidator ini akan mengoksidasi grafit sehingga dihasilkan grafit oksida.

Prosesnya selanjutnya adalah proses homogenisasi dengan *stirring* pada temperatur 35 °C selama 24 jam. Proses ini akan membuat larutan mengental karena terbentuk endapan coklat tua yang merupakan grafit yang telah teroksidasi. Saat endapan terlalu kental sampai *stirrer* menjadi sangat lambat, dilakukan penambahan 100 ml aquades. Setelah 24 jam, *stirring* dimatikan dan ditambahkan H_2O_2 ke dalam larutan. Penambahan H_2O_2 bertujuan untuk menghentikan proses oksidasi dan menyebabkan warna larutan menjadi kuning muda. Setelah *stirring* kembali selama 30 menit, larutan di-*centrifuge* untuk memisahkan antara endapan grafit oksida, cairan sisa, serta pengotornya. Endapan grafit oksida akan berwarna kuning dan endapan pengotornya yaitu sodium akan berwarna putih. Setelah di-*centrifuge*, HCl ditambahkan ke grafit oksida untuk menghilangkan pengotor logam yang terlarut. Lalu dilakukan pencucian berkala pada grafit oksida untuk menghilangkan ion-ion terlarut, seperti SO_4^{2-} . Selain itu, proses pencucian bertujuan untuk menetralkan pH. Selama proses pencucian, warna larutan akan semakin gelap akibat adanya pengelupasan dari grafit menjadi grafit oksida.

Larutan grafit oksida diuji dengan BaCl_2 untuk memastikan kandungan SO_4^{2-} di dalam larutan dan uji pH untuk memastikan tingkat keasaman larutan. Uji BaCl_2 dilakukan dengan menambahkan larutan BaCl_2 ke dalam sampel larutan grafit oksida dan dinyatakan berhasil jika tidak timbul endapan putih BaSO_4 . Untuk pengujian pH dilakukan dengan menggunakan indikator pH dan dinyatakan berhasil jika pH larutan adalah 7. Setelah diuji, maka grafit oksida dapat di-*drying* untuk mengeringkan larutan dengan menghilangkan kandungan air di dalamnya. Larutan grafit oksida dimasukkan ke dalam *crucible*. Proses *drying* dilakukan dengan *furnace muffle* menggunakan temperatur 110 °C dengan waktu tahan 12 jam.

B. Sintesis Graphene

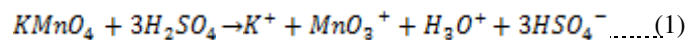
Sintesis *graphene* menggunakan metode reduksi grafit oksida. 40 mg grafit oksida dilarutkan dalam 40 ml aquades. Proses ini dilakukan hingga larutan menjadi homogen. Setelah larutan menjadi homogen, larutan diultrasonikasi dengan *ultrasonic cleaner* yang memiliki kemampuan memancarkan gelombang ultrasonik sebesar 50/60 Hz. Ultrasonikasi dilakukan dalam waktu 90 menit. Akibat gelombang ultrasonik, maka grafit oksida akan terkelupas menjadi *graphene* oksida (GO). Lalu ditambahkan 10 ml HCl 37% ke dalam larutan GO untuk membentuk suasana asam dan dihomogenkan dengan proses *stirring*. Selanjutnya ditambahkan serbuk Zn ke dalam larutan GO yang telah memiliki suasana asam dengan variasi 0,8 g, 1,6 g, dan 2,4 g. Zn kemudian bereaksi dengan GO sehingga menghasilkan gelembung-gelembung gas karena terjadi reduksi gugus fungsi oksigen. Ketika gelembung sudah

berhenti bereaksi, HCl kembali ditambahkan untuk menghilangkan ZnO yang merupakan pengotor. Dari proses sintesis ini dihasilkan *graphene* oksida tereduksi (rGO).

Setelah proses sintesis ini, larutan rGO dicuci berulang kali dengan aquades untuk menetralkan pH-nya. Setelah pH menjadi netral, larutan rGO di-*hydrothermal* untuk membentuk struktur *graphene* yang lebih stabil. Proses *hydrothermal* dilakukan selama 12 jam. Larutan rGO dimasukkan ke dalam wadah teflon, yang kemudian dimasukkan ke dalam *autoclave* dan dikencangkan dengan skrup agar benar-benar kedap udara. Air dalam larutan rGO akan mencapai kondisi kritis dan memiliki tekanan tinggi akibat temperatur yang tinggi sehingga dapat berperan sebagai agen kristalisasi fasa.

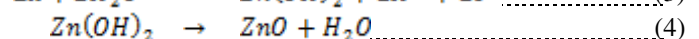
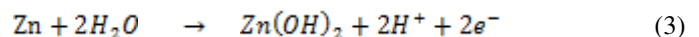
III. HASIL DAN DISKUSI

Proses sintesis *graphene* dibagi menjadi dua tahap utama, yaitu proses sintesis grafit oksida dan sintesis *graphene*. Pada proses grafit oksida, grafit dioksidasi menggunakan oksidator KMnO_4 . Reaksi yang terjadi selama proses oksidasi dapat dinyatakan dengan persamaan (1) dan (2) [4]. Proses oksidasi ini hanya dapat berlangsung ada kondisi asam, sehingga digunakan H_2SO_4 sebagai pembuat suasana asam.



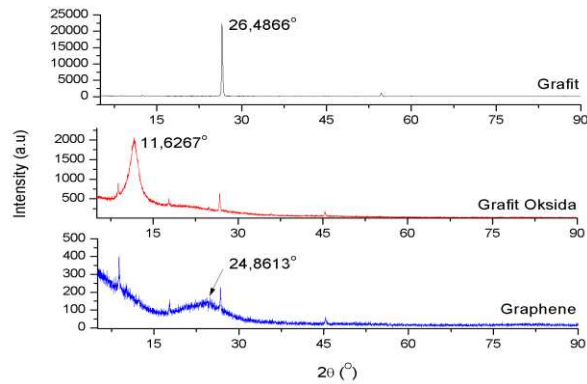
Proses sintesis *graphene* memerlukan *graphene* oksida sebagai prekursor. *Graphene* oksida diperoleh dari proses pengelupasan grafit oksida di dalam air dengan metode ultrasonikasi. Pengelupasan ini diakibatkan oleh gelombang ultrasonik yang memiliki daerah frekuensi gelombang lebih dari 20.000 Hz. Pengelupasan dengan gelombang ultrasonik ini terjadi secara mekanik.

Proses reduksi *graphene* oksida menggunakan Zinc sebagai reduktor. Zinc ditambahkan ke dalam larutan *graphene* oksida sehingga bereaksi dengan H_2O . Mekanisme reaksi yang terjadi selama proses reduksi dapat dilihat pada (3)-(5) [5]. Hasil dari reaksi ini adalah ion H^+ yang menginisiasi proses reduksi.



A. Hasil Pengujian XRD

Pengamatan struktur grafit, grafit oksida, dan rGO dilakukan menggunakan X-Ray Diffraction (Philips Analytical). Sampel grafit oksida berbentuk lembaran sedangkan rGO (*graphene*) berbentuk lembaran dan serbuk. Pengamatan difraksi sinar x dilakukan pada sudut $2\theta = 5^\circ - 90^\circ$ dengan λ Cu-K α 1,54060 Å.



Gambar 1. XRD pattern pada grafit, grafit oksida dan rGO

Perbandingan hasil XRD antara grafit dan grafit oksida serta *graphene* dapat dilihat pada gambar 1. Dari gambar tersebut terlihat bahwa ada perbedaan puncak pada ketiga sampel tersebut. Pada grafit, terdapat puncak $2\theta = 26,4866^\circ$ dengan $d_{\text{spacing}} = 3,36527 \text{ \AA}$ sedangkan pada XRD grafit oksida, tampak puncak kecil pada $2\theta = 26,4866^\circ$ dan puncak yang lebih tinggi muncul pada $2\theta = 11,6267^\circ$ dengan $d_{\text{spacing}} = 7,61135 \text{ \AA}$. Hal tersebut menunjukkan bahwa setelah proses oksidasi, grafit telah berubah menjadi grafit oksida dengan d_{spacing} yang lebih lebar karena memiliki gugus-gugus oksigen dalam lapisan struktur grafit. Gugus-gugus tersebut tidak hanya memperlebar jarak antar layer, tapi juga membuat lapisan atom hidrofilik [6]. Namun juga terdapat puncak kecil pada $2\theta = 26,4866^\circ$. Puncak ini memiliki nilai 2θ yang sama persis dengan puncak dari grafit, yang berarti masih terdapat grafit yang kurang bereaksi secara sempurna.

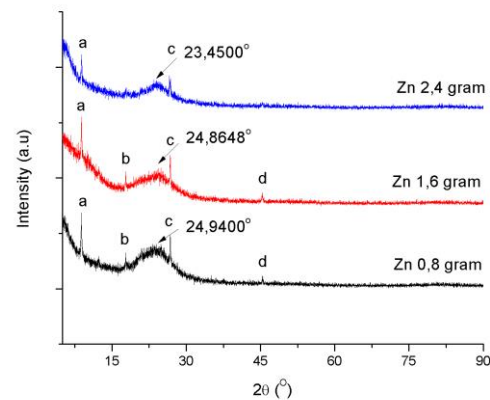
Selanjutnya dari gambar 1 dapat dilihat perbedaan hasil XRD dari grafit oksida dan *graphene* (dengan massa reduktor zinc 1,6 gram). XRD awal dari grafit oksida yang memiliki puncak pada $2\theta = 11,6267^\circ$ dengan $d_{\text{spacing}} = 7,61135 \text{ \AA}$. Setelah proses reduksi menjadi *graphene*, data XRD *graphene* memiliki puncak pada $2\theta = 24,8613^\circ$ dengan $d_{\text{spacing}} = 3,57801 \text{ \AA}$. Puncak *graphene* tersebut mempunyai intensitas yang sangat rendah, menurun drastis dibandingkan dengan grafit maupun grafit oksida. Penurunan tersebut menandakan bahwa *graphene* cenderung memiliki struktur kristal yang amorf.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots\dots\dots (6)$$

Perhitungan jarak antar layer dari grafit, grafit oksida, dan *graphene* dilakukan dengan menggunakan persamaan (6), dimana λ adalah panjang gelombang dan d jarak antar layer. Perhitungan bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi massa Zn terhadap jarak antar layer *graphene*. Dari

Tabel 1. Perbedaan jarak antar layer masing-masing sampel

Bahan	Massa Zn (gram)	Jarak antar layer (Å)
Grafit		3,36527
Grafit oksida		7,61135
<i>Graphene</i>	0,8	3,56689
	1,6	3,57801
	2,4	3,79052

Gambar 2. Hasil pengujian XRD pada *graphene* dengan variasi massa Zn (a) perbandingan posisi puncak (b) perbandingan intensitas

tabel 1 dapat dilihat bahwa setelah proses reduksi, jarak antar layer grafit oksida kembali menurun mendekati jarak antar layer grafit. Hal ini terjadi karena gugus fungsional oksigen dan air telah menghilang dan terbentuk struktur *graphene* yang hanya berisi atom karbon seperti grafit. Namun, nilai jarak layer pada *graphene* masih lebih besar dari grafit. Hal ini mengindikasikan bahwa masih ada sedikit gugus fungsional yang tersisa [3]. Selain itu, terjadi peningkatan jarak antar layer seiring dengan penambahan massa Zn. Semakin banyak Zn yang digunakan, maka semakin jauh jarak antar layer *graphene* akibat proses reduksi yang kurang efektif.

Untuk mengetahui perbandingan hasil XRD pada *graphene* yang telah divariasikan massa reduktor zincnya, bisa dilihat pada gambar 2. Pada gambar 2a, terlihat bahwa posisi puncak *graphene* yang muncul hampir sama, sekitar $2\theta = 23^\circ\text{--}24^\circ$ dan $d_{\text{spacing}} = 3,4\text{--}3,7 \text{ \AA}$. Dari data tersebut dapat diketahui jika grafit oksida telah tereduksi menjadi *graphene*. Namun, selain puncak *graphene*, banyak puncak lain yang bermunculan, diantaranya pada posisi $2\theta_a = 8,8^\circ$; $2\theta_b = 17,7^\circ$; $2\theta_c = 26,7^\circ$; dan $2\theta_d = 45,3^\circ$. Puncak tersebut menandakan bahwa terdapat grafit dan grafit oksida yang belum bereaksi sempurna, serta beberapa unsur lain yang ikut tercampur dalam proses sintesis *graphene*. Berdasarkan hasil penyesuaian dengan JCPDF 00-058-2016, unsur pengotor tersebut antara lain kalium, silika, dan aluminium, membentuk senyawa

Potassium Aluminum Silicate Hydroxide Hydrate [$(K, H_{30}) Al_2 (Si_3Al) O_{10} (OH)_2 \cdot xH_2O$]. Pengotor-pengotor tersebut berasal dari proses perparasi yang kurang sempurna. Namun unsur-unsur tersebut tidak mempengaruhi *graphene* saat pengujian CV karena nilai potensial elektriknya diluar potensial pengujian.

Pada gambar 2b, terlihat pengaruh penambahan zinc terhadap intensitas data XRD *graphene*. Pada *graphene* dengan pemberian Zn sebanyak 0,8 gram, intensitas yang dihasilkan data sebesar (190) pada $2\theta = 24,9400^\circ$, *graphene* dengan 1,6 gram Zn memiliki intensitas (173) pada $2\theta = 24,8648^\circ$, dan *graphene* dengan 2,4 gram Zn memiliki intensitas (115) pada $2\theta = 23,4500^\circ$. Penurunan intensitas puncak grefena yang dihasilkan, nantinya juga akan berpengaruh pada kualitas sifat *graphene* itu sendiri. Nilai intensitas XRD ini dipengaruhi oleh tingkat kristalinitas bahan. Sehingga semakin tinggi intensitasnya, semakin kristalin bahan tersebut. Saat suatu bahan berstruktur kristalin, maka susunan atomnya akan lebih teratur dan rapi. Hal tersebut mempengaruhi sifat bahan itu sediri, termasuk sifat listriknya. Saat susunan atom menjadi lebih rapi, elektron akan lebih cepat mengalir dalam bahan tersebut dan membuat bahan memiliki sifat konduktifitas yang lebih baik. Jadi, meskipun dari tinggi *peak*, *graphene* termasuk material amorf, namun di sini berarti *graphene* dengan Zn 2,4 gram memiliki struktur lebih amorf dibandingkan yang lainnya.

B. Hasil Pengujian SEM

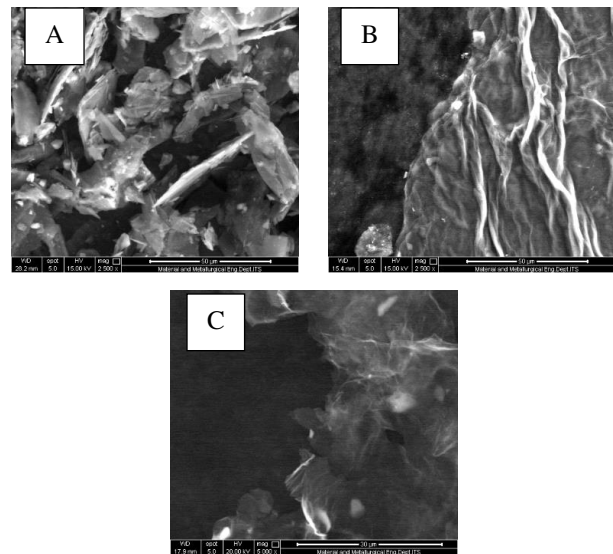
Pengujian SEM bertujuan untuk mengamati morfologi permukaan dan bentuk partikel dari sampel grafit, grafit oksida, dan *graphene*. Instrumen yang digunakan adalah mesin SEM tipe FEI INSPECT S550 dengan tegangan sebesar 10.000 kV.

Perubahan morfologi dari grafit sampai menjadi *graphene* ditunjukkan oleh gambar 3. Grafit memiliki morfologi berbentuk flake (gambar 3a). Gambar 3b merupakan morfologi dari grafit oksida. Terlihat bahwa setelah mengalami proses oksidasi, grafit yang berbentuk flake kecil dan tajam berubah menjadi grafit oksida yang memiliki bentuk seperti lembaran kain yang terlipat, namun lembaran tersebut masih cukup tebal seperti terdiri dari beberapa lapis. Setelah proses reduksi lebih lanjut, grafit oksida berubah menjadi *graphene*. Pada gambar 3c, terlihat bahwa morfologi *graphene* berupa lembaran yang jauh lebih tipis dari grafit oksida.

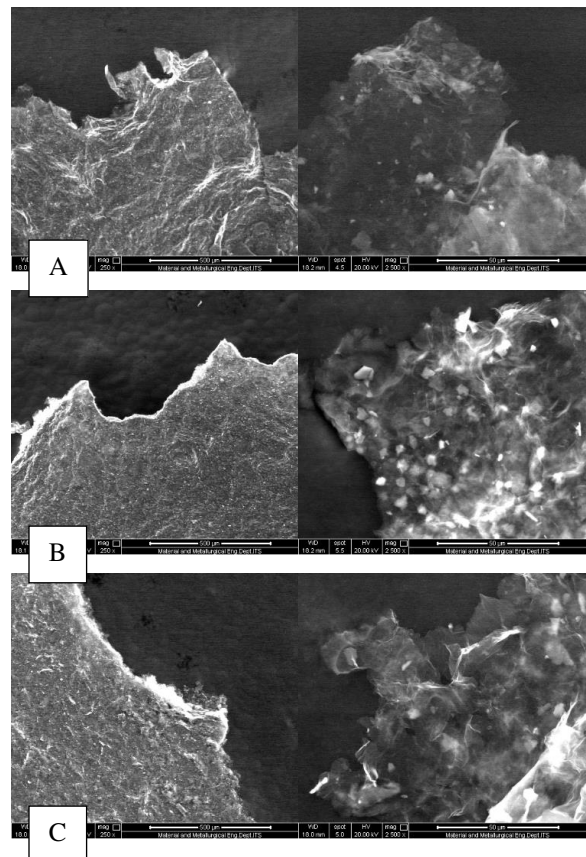
Perbedaan morfologi permukaan juga terjadi pada *graphene* karena perbedaan komposisi zinc yang diberikan. Seperti yang terlihat pada gambar 4. Pada perbesaran 250x, terlihat dari gambar 4a bahwa *graphene* dengan massa zinc 0,8 gram memiliki morfologi permukaan yang cukup halus serta tipis namun banyak terdapat lipatan dari lembaran *graphen*nya. Pada gambar 4b, *graphene* dengan massa zinc 1,6 gram memiliki tekstur permukaan yang lebih halus dan sedikit lebih tebal dibanding *graphene* dengan zinc 0,8 gram. Sedangkan *graphene* dengan massa zinc 2,4 gram memiliki permukaan yang kasar, banyak terdapat serpihan kecil di permukaannya, serta lembarannya lebih tebal dibandingkannya dengan yang lain, seperti pada gambar 4c. Hal ini berkaitan dengan hasil dari perhitungan di Tabel 1 dimana jarak antar layer yang paling kecil adalah *graphene* dengan 0,8 gram. Semakin pendek jarak antar layer, *graphene* akan terlihat lebih jelas karena *graphene*

memiliki sifat transparan yang cukup baik. Jika jarak antar layer bertambah, maka suatu benda transparan akan terlihat buram dan terlihat lebih tebal.

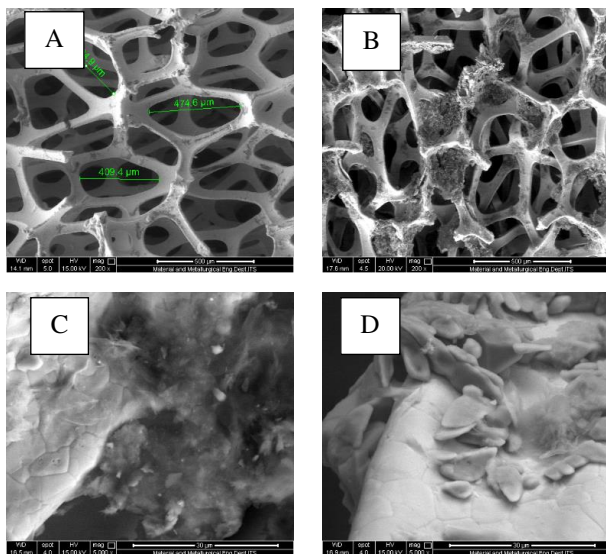
Pada perbesaran 5000x (gambar 4 kanan), ketiga



Gambar 3. Perbandingan hasil SEM perbesaran 2500x antara (a) grafit, (b) grafit oksida, dan (c) *graphene*



Gambar 4. Perbandingan hasil SEM perbesaran 250x (kiri) dan 5000x (kanan) antara *graphene* dengan variasi massa zinc (a) 0,8 gram, (b) 1,6 gram, dan (c) 2,4 gram



Gambar 5. Perbandingan hasil SEM elektroda *nickel foam* (a) polos, (b, c) setelah dideposit dengan *graphene*, dan (d) setelah pengujian CV

graphene menunjukkan struktur yang hampir sama yaitu berupa lembaran yang sangat tipis. Lembaran tersebut ada yang saling bertumpuk sehingga terlihat lebih tebal, ditandai dengan warna gambar yang lebih terang. Lembaran yang sangat tipis, disebut *Single Layer Graphene* (SLG) karena terdiri dari 1 lembar *graphene*, sedangkan lembaran yang bertumpuk-tumpuk disebut *Few Layer Graphene* (FLG) [2]. Tampak dari ketiga gambar tersebut, persebaran tumpukan lembaran tidak sama. Pada gambar 4.5a, memang lebih luas lembaran yang tipis daripada tumpukan lembaran yang lebih tebal. Untuk *graphene* dengan 1,6 gram dan 2,4 gram Zn, terlihat lembaran yang tebal cukup banyak.

Pengujian SEM di atas menunjukkan kondisi morfologi *nickel foam* saat sebelum dan sesudah dideposit dengan *graphene*. Morfologi *nickel foam* berbentuk seperti *sponge*. Lalu, setelah *graphene* dilarutkan dalam aquades dan *nickel foam* dicelupkan ke dalam larutan *graphene*. Dari gambar 5b, terlihat *graphene* sudah menempel dan masuk ke dalam rongga-rongga *nickel foam*. Namun *graphene* pada sampel ini sangat sedikit karena banyak pori-pori *nickel foam* yang belum tertutup dan terisi. Hal ini disebabkan karena *graphene* yang dilarutkan terlalu sedikit sehingga larutan yang dihasilkan kurang cukup kental. p

Meskipun pada gambar 5a terlihat bahwa pada *nickel foam* terdapat cacat yang berbentuk seperti bercak *graphene*, namun pada perbesaran 5000x (gambar 5c) terbukti bahwa *graphene* telah menempel pada *nickel foam*. Setelah proses pengujian CV, *graphene* tertutupi oleh elektrolit Na_2SO_4 dan menggumpal karena telah mengering (gambar 5d)

C. Pengujian FPP

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai konduktifitas *graphene*. Nilai konduktifitas didapatkan dari nilai resistansi, dimana berhubungan dengan nilai tegangan *output* yang terbaca saat pengujian.

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln 2} \times \frac{V}{I} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots (3.8)$$

Untuk perhitungan nilai konduktifitas, digunakan (3.7) dan (3.8). ρ merupakan resistivitas bahan (Ω/cm), t tebal bahan (cm), V tegangan output yang terbaca (volt), I arus listrik dalam rangkaian (ampere) dan σ adalah konduktifitas bahan (S/cm)

Dari hasil pada tabel 2, terlihat bahwa *graphene* dengan Zn 0,8 gram memiliki nilai konduktifitas (2,906 S/cm) yang lebih baik dari pada *graphene* dengan 1,6 gram (2,473 S/cm) dan 2,4 gram (2,053 S/cm). Tampak terjadi penurunan nilai konduktifitas *graphene* seiring dengan banyaknya jumlah zinc yang digunakan pada proses reduksi *graphene oxide*. Penurunan ini disebabkan oleh kualitas *graphene* yang dihasilkan dari masing-masing variasi zinc. Seperti yang terbukti pada pengujian XRD dan SEM dimana *graphene* dengan Zn 0,8 gram memiliki jarak antar layer yang paling kecil, sehingga elektron bisa mengalir dengan lebih lancar karena tidak banyak gugus fungsi oksigen yang menghalangi. Selain itu, dari karakterisasi sebelumnya, *graphene* Zn 2,4 gram dengan nilai kapasitansi terkecil, memiliki intensitas puncak terendah serta morfologi lembaran yang paling tebal. Sehingga bisa didapatkan bahwa nilai kapasitansi *graphene*

Tabel 2. Hasil pengujian konduktifitas *graphene*

Spesimen Graphene	Tebal rata-rata (cm)	V output (volt)	Resistivitas (Ωcm)	Konduktifitas (S/cm)
0,8 g Zn	0,0285	0,533	0,344	2,906
1,6 g Zn	0,02625	0,68	0,404	2,473
2,4 g Zn	0,026	0,827	0,487	2,053

menurun seiring dengan penambahan massa zinc, tebalnya lembaran karena gugus oksigen, dan kualitas kristalinasi berdasarkan tinggi intensitas XRD.

Nilai konduktifitas yang didapatkan oleh ketiga sampel ini masih memenuhi rentang dari nilai konduktivitas listrik berdasarkan referensi [7], yang menyatakan rentang nilai konduktivitas elektrik *graphene* yang disintesis dari proses reduksi kimia memang sangat rendah, berkisar dari 0,05-2 S/cm..

D. Hasil Pengujian CV

Pengujian *Cyclic Voltametry* digunakan untuk mengetahui nilai kapasitansi dari elektroda *nickel foam-graphene*. Pengujian dilakukan dengan mendepositkan *graphene* ke dalam *nickel foam*, menggunakan larutan elektrolit Na_2SO_4 1M, dan *potential window* dari 0 – 0.8 V. Nilai potensial tersebut digunakan karena menyesuaikan rentang potensial kerja kapasitor. Instrumen yang digunakan adalah AUTOLAB PG STAT 302 METHROM, dengan *counter electrode* Pt 99.999% dan *reference electrode* Ag/AgCl. Hasil pengujian akan menampilkan data kurva besarnya *potential* terhadap *current density* pada spesimen.

Pada rentang potensial 0-0,8 V, sampel tidak menunjukkan efek *pseudocapacitance* namun cenderung berbentuk kapasitor resistif, yaitu bentuk kurva menyerupai persegi panjang yang miring ke atas. Tidak terjadinya efek *pseudocapacitance*, yang

Tabel 3.

Hasil pengujian kapasitansi elektroda *nickle foam- graphene*

Elektroda <i>nickle foam-graphene</i>	Scan Rate (V/s)	Kapasitansi F/g
Massa Zinc 0,8 gram	0,005	90,623
	0,01	69,428
	0,05	34,085
	0,1	23,562
Massa Zinc 1,6 gram	0,005	69,806
	0,01	50,846
	0,05	25,191
	0,1	12,779
Massa Zinc 2,4 gram	0,005	55,423
	0,01	43,959
	0,05	18,324
	0,1	14,772

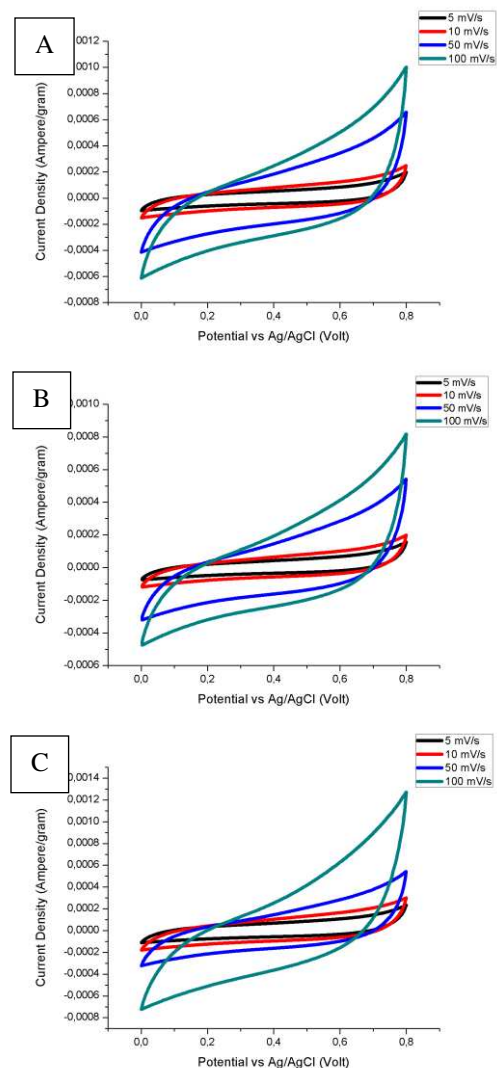
berupa adanya *hump* (gundukan) menandakan bahwa selama pengujian tidak terjadi proses reduksi-oksidasi pada sampel Ni. Reaksi redoks oleh nikel sangat dihindari, karena dapat menyebabkan data kapasitansi yang terbaca oleh alat pengujian akan kurang valid, tidak murni milik *graphene*. Untuk itu, berdasarkan penelitian sebelumnya dipilih elektrolit dari Na_2SO_4 1M dan rentang *window potential* 0-0,8 V agar *nickel foam* tidak mengalami redoks [3].

Dari data di tabel 3, nilai kapasitansi terbesar dimiliki oleh sampel dengan massa zinc 0,8 gram yaitu sebesar 90,623 F/gram. Besarnya nilai kapasitansi ini disebabkan oleh kualitas *graphene* yang dihasilkan dengan penggunaan massa reduktor 0,8 gram lebih baik dari variasi lainnya.

Kapasitansi menunjukkan penurunan nilai yang drastis dari *scan rate* 5-10 mV/s dan 10-50 mV/s. Sedangkan dari *scan rate* 50-100 mV/s terlihat bahwa penurunan yang terjadi cenderung sedikit, hampir stabil. Hal ini bisa dilihat pada gambar 6, ketiga sampel menunjukkan bentuk kurva persegi panjang pada *scan rate* 5 mV/s dan 10 mV/s dan kurva resistif pada *scan rate* 50 mV/s dan 100 mV/s. Kurva persegi panjang berarti proses penyimpanan berlangsung stabil, besarnya rapat arus hampir tetap seiring bertambahnya beda potensial dan saat *discharging*, muatan yang keluar pun tetap stabil. Kurva tersebut mendekati kondisi kurva ideal untuk kapasitor. Sedangkan kurva resistif, berarti pada pengujian *scan rate* 50 mV/s dan 100 mV/s besarnya rapat arus akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya besar potensial yang diberikan. Kurva tersebut menandakan bahwa saat nilai *scan rate* tinggi, sampel bertindak seperti kapasitor resistif karena muatan-muatan listrik terlalu banyak yang menempel pada elektroda kerja, sedangkan jumlah karbon aktif pada elektroda (*graphene*) terlalu sedikit.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini didapat hasil terbaik adalah *graphene* Zn 0,8 gram dengan nilai konduktifitas 2,906 S/cm dan kapasitansi 90,623 F/gram. Hal ini dikarenakan *graphene* yang dihasilkan dengan Zn 0,8 gram pada uji XRD memiliki nilai intensitas lebih tinggi, jarak antar layer paling mendekati milik grafit dan pada SEM terlihat memiliki morfologi lembaran paling tipis.



Gambar 6. Perbandingan hasil SEM perbesaran 2500x antara (a) grafit, (b) grafit oksida, dan (c) *graphene*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. M. Choi, Wonbong, Lee, Jo-won, "Synthesis and characterization of graphene -supported metal nanoparticles by impregnation method with heat treatment in H_2 atmosphere", *Synthetic Metals* (2011) 161: 2405-2411.
- [2] Y. Pradesar, D. Susanti, "Pengaruh Waktu Ultrasonikasi dan Waktu Tahan Proses Hydrothermal Terhadap Struktur Dan Sifat Listrik Material Graphene", Surabaya: Tugas Akhir (2014) ITS
- [3] H. Nurdiansyah., D. Susanti, "Pengaruh Temperatur Hidrotermal dan Waktu Ultrasonikasi Terhadap Nilai Kapasitansi Elektroda Electric Double Layer Capacitor (EDLC) dari Material Grafena", Surabaya: Tesis (2014) ITS
- [4] D. R. Dreyer, S. Park, C.W. Bielawski, R. S. Ruoff, "The Chemistry of Graphene Oxide", *Chemical Society Review* (2009) 39: 228-240.
- [5] G. Z. Gang, Z. G. Hui, L. Yue, "A green and mild approach of synthesis of highly-conductive graphene film by zn reduction of exfoliated graphite oxide". *Chin. J. Chem. Phys* (2012). Vol 25 No.4:494-500.
- [6] S. Pei, H.M. Cheng, "The reduction of graphene oxide", *Carbon* (2011) 50 3210-3228
- [7] C. G. Navarro, C. Gomez, M. Burghard, K. Kern, "Elastic properties of chemically derived single graphene sheets", *Nano Letters* (2008) Vol. 8 No. 7 2045-2049