

# Pengaruh Variasi Kadar Zn Dan Temperatur *Hydrothermal* Terhadap Struktur Dan Nilai Konduktivitas Elektrik Material *Graphene*

Lita Nur Azizah dan Diah Susanti

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

Kampus ITS, Keputih, Surabaya 60111

*E-mail:* santiche@mat-eng.its.ac.id

**Abstrak**—*Graphene* adalah bentuk 2D dari karbon dengan sifat-sifat unggul yang menarik untuk dikembangkan. Permasalahan yang kemudian muncul adalah proses sintesis massal yang masih menjadi kendala. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis material *graphene* secara kimiawi dengan menggunakan reduktor zinc dan metode *hydrothermal* dan menganalisa pengaruh variasi penambahan massa sebesar 0,8 gram, 1,6 gram, dan 2,4 gram zinc serta variasi temperatur *hydrothermal* 160°C, 180°C, 200°C. Proses karakterisasi material *graphene* dilakukan dengan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared spectroscopy*, Uji Iodine number, dan Four Point Probe digunakan untuk mengetahui nilai konduktivitas elektrik material. Morfologi dari *graphene* yang dihasilkan berbentuk lembaran-lembaran transparan dan disertai dengan kerutan pada permukaannya. Nilai konduktivitas elektrik terbesar dihasilkan dari variasi penambahan serbuk zinc sebesar 0,8 gram dan temperatur *hydrothermal* sebesar 200°C dengan nilai sebesar 0,10281 S/cm dan bilangan iodine 11384,64.

**Kata Kunci**—Grafit Oksida, *Graphene* Oksida, *Graphene*, *Hydrothermal*, Konduktivitas Elektrik.

## I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN teknologi dewasa ini begitu pesat. Adanya tuntutan dari konsumen yang semakin membutuhkan perangkat elektronik yang efisien, ringan dan tentunya dengan performa yang tinggi, menuntut perkembangan ilmu material untuk menemukan sebuah material baru yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Salah satu tuntutan material tersebut adalah material yang dapat diaplikasikan pada rancangan perangkat elektronik yang futuristik dan setipis mungkin. Kendala yang dialami oleh produsen perangkat elektronik sekarang adalah belum adanya sebuah material yang fleksibel dengan konduktivitas elektrik tinggi yang dapat diaplikasikan pada perangkat elektronik. Salah satu contohnya adalah pada layar LCD, yang terdiri dari beberapa lapis material seperti *LCD matrix*, dan sebuah *colour filter* yang digunakan untuk menampilkan warna pada LCD. Untuk menggabungkan kedua material tersebut digunakan sebuah perekat konduktif. Permasalahan yang kemudian muncul adalah perekat yang ada tidak cukup konduktif sehingga akan mempengaruhi desain dari LCD.

Pada tahun 2004 ditemukan sebuah material baru yang dinamakan *graphene*. *Graphene* merupakan bentuk 2 dimensi dari karbon dan memiliki sifat elektronik yang unggul. Sifat tersebut diantaranya adalah mobilitas pembawa muatan yang tinggi, mencapai lebih dari 200.000 cm<sup>2</sup>/Vs [1]. Selain memiliki konduktivitas tinggi *graphene* merupakan material terkuat di dunia. Menurut penelitian dari universitas Manchester, *graphene* memiliki kekuatan tarik sebesar 1 TPa. Dengan sifat yang demikian, *graphene* merupakan material unik yang menjadi harapan bagi perkembangan industri elektronik, pesawat terbang, dan industri otomotif. Meskipun demikian dengan sifat-sifat yang demikian menjanjikan, di Indonesia belum banyak penelitian yang mengembangkan *graphene* sebagai material alternatif.

*Graphene* merupakan material yang terbuat dari grafit. Pada umumnya metode sintesis yang digunakan ialah metode *mechanical exfoliation* (*scotch tape*), dan CVD (*Chemical Vapor Desposition*). *Mechanical exfoliation* merupakan metode yang mudah digunakan, akan tetapi hanya dapat menghasilkan *graphene* dalam jumlah yang sedikit, karena metodenya menggunakan pengelupasan secara mekanik pada grafit. Grafit yang berupa padatan, ditempel dengan menggunakan selotip, kemudian selotip tersebut dilepas. Setelah dilepas selotip tersebut direkatkan kembali sampai pada akhirnya diperoleh *graphene*. Pada metode CVD, *graphene* yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan metode *mechanical exfoliation*. Meskipun produk yang dihasilkan lebih banyak, metode ini membutuhkan biaya relatif mahal karena menggunakan substrat SiO<sub>2</sub> sebagai media pertumbuhan *graphene* dan juga peralatan penunjang untuk metode CVD tersebut menggunakan teknologi tinggi. Metode lain yang coba dikembangkan adalah mensintesis *graphene* secara kimiawi dengan cara mengoksidasi grafit sehingga menghasilkan *graphene oxide*. Metode ini dikenal dengan metode hummer [2]. Dengan metode ini produk yang dihasilkan hanya sebatas *graphene oxide*. Dengan demikian proses sintesis *graphene* secara massal masih menjadi kendala bagi perkembangan aplikasi material *graphene*. Oleh karena itu diperlukan sebuah penelitian mengenai sintesis *graphene* dengan metode hidrotermal dan dengan menggunakan precursor berupa grafit

murni yang mudah didapatkan di pasaran. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat menjawab permasalahan produksi graphene secara massal dengan biaya produksi yang relatif terjangkau. Selain itu penelitian ini diharapkan sebagai pelopor penelitian *graphene* di Indonesia.

II. METODOLOGI PENELITIAN

I. Sintesis Grafit Oksida

Grafit oksida disintesis dengan menggunakan modifikasi metode hummer. Proses sintesis dengan metode ini menggunakan serbuk grafit,  $KMnO_4$ ,  $NaNO_3$ , dan  $H_2SO_4$  sebagai bahan dasar. Proses sintesis dimulai dengan stiring 2 gram serbuk grafit dan 4 gram  $NaNO_3$  dengan 98 ml  $H_2SO_4$  98% selama 4 jam dengan kecepatan tinggi. Setelah proses stiring berjalan selama 1 jam 8 gram  $KMnO_4$  mulai ditambahkan sedikit demi sedikit dan bertahap larutan akan berubah warna menjadi hitam kehijauan selama proses penambahan  $KMnO_4$ , kemudian proses stiring dilanjutkan. Selama proses stiring tersebut temperatur dijaga dibawah  $20^{\circ}C$ .

Setelah 4 jam stiring, larutan dipindahkan dari *ice bath* kemudian stiring dilanjutkan selama 20 jam dan temperatur dijaga tetap berada pada  $35^{\circ}C$ . Setelah 24 jam stiring larutan akan berubah menjadi coklat muda. Kemudian 200 ml aquades ditambahkan dan distiring selama 1 jam, larutan akan berubah dari coklat muda menjadi coklat tua. Setelah proses stiring selesai proses selanjutnya adalah penambahan 20 ml  $H_2O_2$  30%, larutan akan berubah warna dari coklat tua menjadi kuning. Untuk memisahkan antara endapan dan cairan dilakukan proses centrifuge selama 1 jam dengan kecepatan 3000 rpm. Setelah terpisah antara endapan dan cairan, pencucian dilakukan pada endapan yang diperoleh dengan menggunakan aquades. Pencucian dilakukan sampai tidak ada ion sulfat dan pH menjadi netral. Untuk mengetahui apakah ion sulfat telah hilang dan pH menjadi netral dilakukan tritansi dengan menggunakan  $BaCl$  1M dan menggunakan kertas lakmus. Apabila ion sulfat telah hilang dan pH telah netral maka dilakukan proses drying selama 12 jam dengan temperatur  $110^{\circ}C$  untuk mendapatkan grafit oksida.

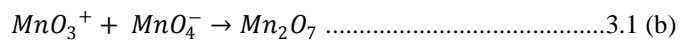
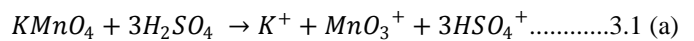
II. Sintesis Graphene

*Graphene* disintesis dengan menggunakan proses hydrothermal. 40 mg grafit oksida dilarutkan pada 40 ml aquades dan distiring selama 1 jam untuk mendapatkan larutan yang homogen. Kemudian dilakukan ultrasonikasi selama 1 jam pada larutan tersebut untuk mendapatkan graphene oksida. Setelah proses ultrasonikasi, untuk proses reduksi ditambahkan serbuk Zn dengan variasi 0,8 gr, 1,6 gr, dan 2,4 gr. 10 ml larutan HCl 35% kemudian ditambahkan untuk mendapatkan suasana asam dan kemudian larutan tersebut distiring selama 30 menit. Setelah 30 menit stiring, 10 ml larutan HCl 35% kembali ditambahkan pada larutan tersebut dan didiamkan beberapa saat untuk menghilangkan Zn yang masih tersisa. *Centrifuge* dilakukan untuk memisahkan antara endapan dan cairan. *Centrifuge* dilakukan selama 1 jam dengan kecepatan 3000 rpm. Endapan yang didapat kemudian

dicuci dengan menggunakan aquades. Setelah proses pencucian, endapan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *auto clave* kemudian dipanaskan selama 12 jam dengan variasi temperatur sebesar  $160^{\circ}C$ ,  $180^{\circ}C$ , dan  $200^{\circ}C$ .

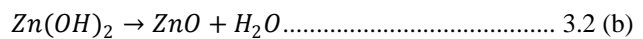
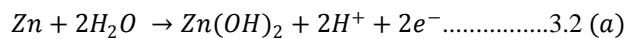
III. HASIL DAN DISKUSI

Proses sintesis *Graphene Oksida* (GO) dibagi menjadi dua proses. Proses yang pertama ialah proses sintesis grafit oksida dan proses yang kedua ialah proses eksfoliasi grafit oksida menjadi graphene oksida dengan cara ultrasonikasi grafit oksida. Mekanisme reaksi oksidasi dapat dinyatakan pada persamaan 3.1 (a) dan 3.1 (b) [3]. Proses transformasi ini hanya bisa terjadi pada kondisi asam kuat, sehingga kehadiran asam sulfat selain sebagai pelarut dari grafit juga berperan dalam proses oksidasi lebih lanjut.



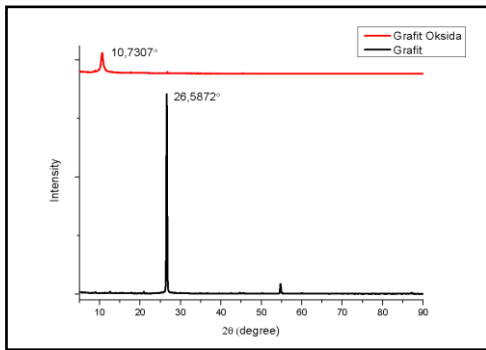
Proses sintesis *graphene* dimulai dengan pembuatan prekursor graphene oksida. *Graphene oksida* diperoleh dengan menggunakan proses pendispersian grafit oksida pada air dengan menggunakan proses ultrasonikasi. Pengelupasan ini dapat terjadi karena adanya gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik merupakan salah satu dari gelombang mekanik dengan range frekuensi lebih dari 20.000 Hz sehingga proses pengelupasan dari grafit oksida menjadi graphene oksida dilakukan secara mekanik. Proses pengelupasanya diawali dengan adanya gaya geser pada grafit oksida akibat interaksi dengan gelombang ultrasonik dan proses kavitasi yang dialami oleh medium yang berupa air. Proses kavitasi disebabkan karena adanya perbedaan tekanan pada saat proses ultrasonikasi sehingga menyebabkan inisiasi proses pengelupasan grafit oksida menjadi graphene oksida [4].

Proses reduksi graphene oksida terjadi karena Zinc ditambahkan pada larutan bereaksi dengan  $H_2O$  seperti ditunjukkan pada persamaan 3.2 dan membentuk ion  $H^+$  yang menginisiasi proses reduksi [5].



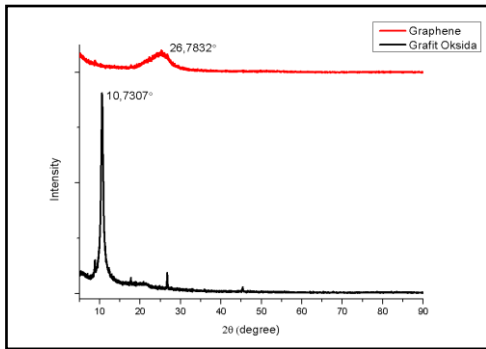
A. Hasil Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui perubahan yang terjadi karena adanya perlakuan yang diberikan kepada sampel. XRD dilakukan dengan menggunakan mesin Philips Analytical dengan range sudut  $5^{\circ}$ - $90^{\circ}$  dan panjang gelombang sebesar  $1.54056 \text{ \AA}$



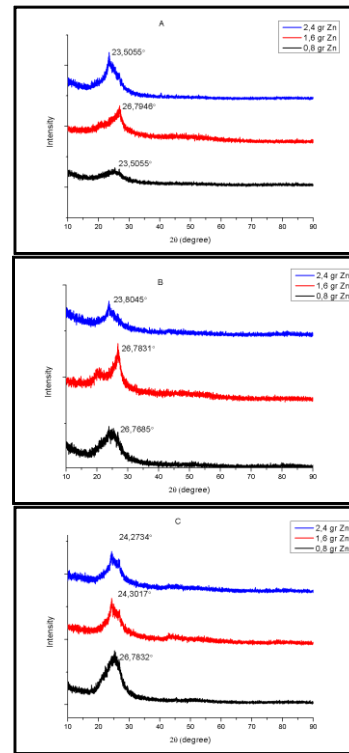
Gambar 1. Perbandingan Hasil Pengujian XRD Grafit Murni dan Grafit Oksida

Pada grafit murni, sudut  $2\theta$  yang terbentuk sebesar  $26,5872^\circ$  dengan  $d$  spacing sebesar  $0,335275$  nm sedangkan pada grafit oksida sudut yang terbentuk sebesar  $10,7307^\circ$  dengan  $d$  spacing sebesar  $0,824477$  nm. Pelebaran jarak dapat terjadi karena terbentuknya gugus-gugus fungsional dan juga molekul  $H_2O$  yang berikatan dengan grafit selama proses oksidasi [6] Gugus-gugus fungsi dan molekul inilah yang menyebabkan grafit oksida memiliki  $d$  spacing yang lebih lebar apabila dibandingkan dengan grafit murni.



Gambar 2. Perbandingan Hasil Pengujian XRD Grafit dan Oksida dan Graphene

Pada awalnya grafit oksida berada pada posisi  $2\theta$  sebesar  $10,7307^\circ$  dengan nilai jarak antar layer sebesar  $0,824477$  nm. Dengan adanya proses reduksi, grafit oksida berubah menjadi graphene dengan  $2\theta$  sebesar  $26,7832^\circ$  dan jarak antar layer sebesar  $0,332867$  nm. Penurunan jarak antar layer pada transformasi grafit oksida menjadi graphene disebabkan gugus-gugus fungsional yang terdapat pada grafit oksida telah hilang karena adanya proses reduksi. Selain pelebaran jarak antar layer, dilihat pada Gambar 2. peak graphene yang dihasilkan lebih lebar dan intensitas yang dihasilkan lebih kecil serta FWHM yang melebar dibandingkan grafit. Hal ini disebabkan karena graphene telah terkelupas menjadi satu lapis atau beberapa lapis dengan struktur yang sangat berbeda dari grafit sebagai material asal [7].



Gambar 3. Perbandingan hasil pengujian XRD pada temperatur (A)  $160^\circ C$ , (B)  $180^\circ C$ , (C)  $200^\circ C$

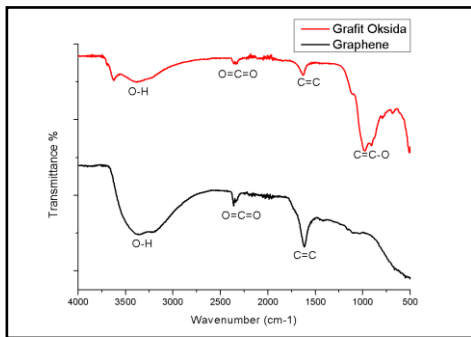
Tabel 1. Ukuran Kristal Graphene Pada Variasi Penambahan Massa Reduktor Zn

Temperatur Hydrothermal ( $^\circ C$ )	Massa (gram)	$\theta$ ( $^\circ$ )	FWHM (Rad)	$0,9 \lambda$	$\cos \theta$	$\sin \theta$	D (Å)	$\epsilon$
160	0,8	13,36	0,0032	1,39	0,97	0,2310	450,39	0,0033
	1,6	13,40	0,0032	1,39	0,97	0,2316	450,45	0,0033
	2,4	11,75	0,0068	1,39	0,98	0,2036	207,00	0,0082
180	0,8	13,38	0,0044	1,39	0,97	0,2314	322,38	0,0046
	1,6	13,39	0,0032	1,39	0,97	0,2315	450,44	0,0033
	2,4	11,90	0,0056	1,39	0,98	0,2061	251,19	0,0067
200	0,8	13,39	0,0068	1,39	0,97	0,2315	208,32	0,0072
	1,6	12,15	0,0038	1,39	0,98	0,2104	373,17	0,0044
	2,4	12,14	0,0092	1,39	0,98	0,2101	153,87	0,0107

Dengan penambahan massa reduktor Zn dari 0,8 gram, 1,6 gram, dan 2,4 gram dihasilkan  $d$  spacing sebesar  $0,32$  nm- $0,36$  nm dengan posisi  $2\theta$  antara  $23^\circ$ - $26^\circ$ . Tabel 1 menunjukkan bahwa dengan penambahan massa Zinc ukuran kristal yang terbentuk cenderung mengalami kenaikan pada penambahan 1,6 gram Zn, dan mengalami penurunan pada penambahan 2,4 gram Zn. Dalam artian pengaruh penambahan reduktor pada kristal yang terbentuk mengalami yield pada penambahan 1,6 gram zinc. ukuran kristal terkecil dicapai pada temperatur pemanasan hidrotermal  $200^\circ C$ . Sedangkan microstrain boardening pada temperatur tersebut mempunyai nilai yang paling tinggi. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pada pemanasan hidrotermal  $200^\circ C$  menyebabkan ukuran kristal kecil dengan defect yang besar.

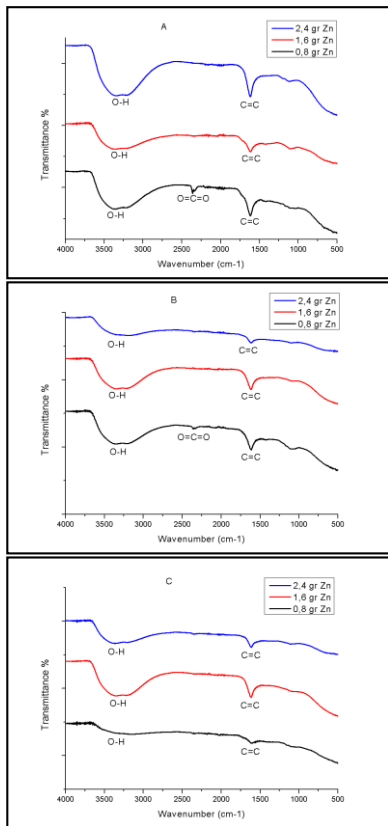
**B. Hasil Pengujian FTIR**

Pengujian *Fourier-Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk selama proses sintesa. Pengujian ini menggunakan mesin nicolet IS10 dengan range pajang gelombang sebesar 500-4000  $\text{cm}^{-1}$ .



Gambar 4. Hasil Uji FTIR Grafit Oksida dan Graphene

Peak yang muncul pada grafit oksida teridentifikasi pada panjang gelombang 3600  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan panjang gelombang milik ikatan O-H, peak pada panjang gelombang 1628  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan panjang gelombang dari ikatan C=C aromatik. Selain peak tersebut pada grafit oksida muncul peak pada panjang gelombang 2339  $\text{cm}^{-1}$  yang dapat diidentifikasi sebagai gas  $\text{CO}_2$  yang berikatan diantara kisi grafit oksida [6].

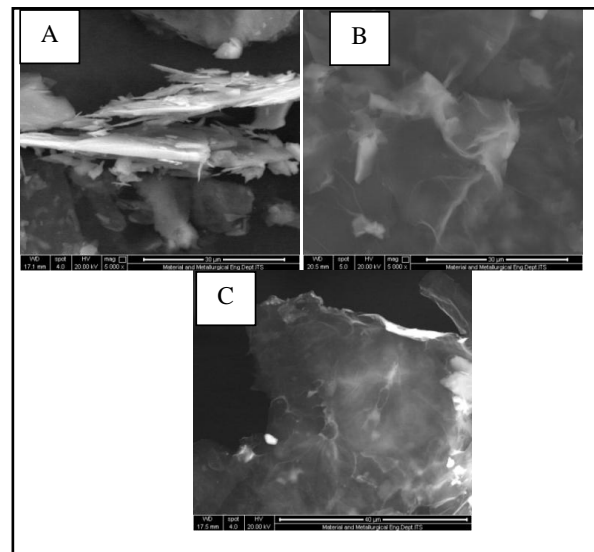


Gambar 5. Perbandingan hasil pengujian FTIR pada temperatur (A) 160°C, (B) 180°C, (C) 200°C

Pada proses reduksi grafit oksida menjadi graphene, ditinjau dari hasil FTIR dapat dinyatakan bahwa grafit oksida telah tereduksi dengan sempurna dengan hilangnya peak pada panjang gelombang disekitar 984  $\text{cm}^{-1}$  dan terdapat peak pada panjang gelombang 1628  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan panjang gelombang dari ikatan C=C aromatik. Ikatan C=C aromatik merupakan indikasi terbentuknya graphene. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, munculnya gugus O-H dengan intensitas yang lebih tinggi dapat diakibatkan karena proses hydrothermal yang dilakukan. Gambar 6 menunjukkan dengan penambahan 0,8 gram zinc masih terdapat peak pada panjang gelombang 2389  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan panjang gelombang milik  $\text{CO}_2$ . Hal ini mengindikasikan bahwa dengan penambahan 0,8 gram zinc proses reduksi belum berjalan dengan sempurna. Sedangkan pada penambahan massa zinc sebesar 1,6 gram dan 2,4 gram peak  $\text{CO}_2$  sudah tidak tampak lagi. Hal ini mendakan bahwa dengan penambahan massa zinc tersebut proses reduksi telah terjadi dengan sempurna. Dengan pemanasan hydrothermal pada temperatur 200°C intensitas gugus O-H yang dihasilkan cenderung menurun. Hal ini menandakan bahwa kandungan air yang terdapat pada graphene menurun pada pemanasan dengan temperatur 200°C.

**C. Hasil Pengujian SEM**

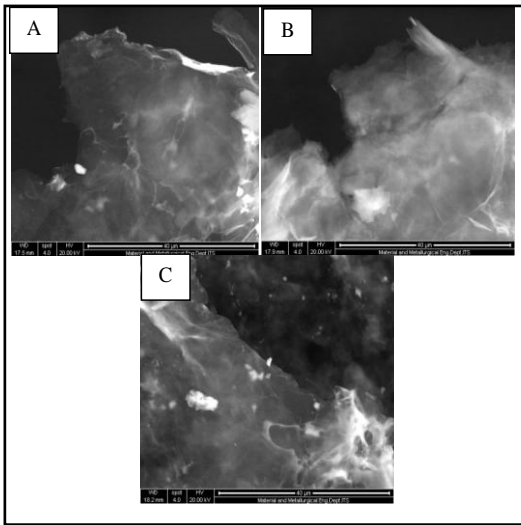
Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dan bentuk partikel dari graphene yang terbentuk dari tiap-tiap perlakuan. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mesin SEM tipe FEI INSPECT S550 dengan tegangan sebesar 10.000 kv



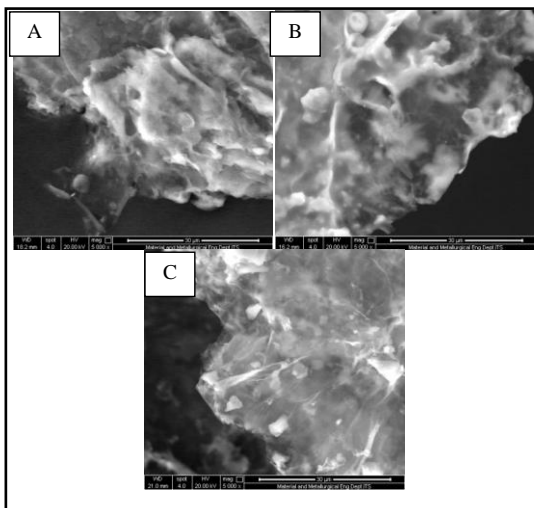
Gambar 6. Hasil Pengamatan SEM (A) Grafit, (B) Grafit Oksida, (C) Graphene dengan perbesaran 5000X

Evolusi morfologi dari grafit menjadi graphene ditunjukkan pada Gambar 7. Grafit memiliki morfologi berbentuk flake seperti yang ditunjukkan pada gambar (A). Gambar (B) merupakan grafit oksida dengan morfologi berupa lembaran-lembaran yang terdiri dari beberapa lapis. Terlihat bahwa

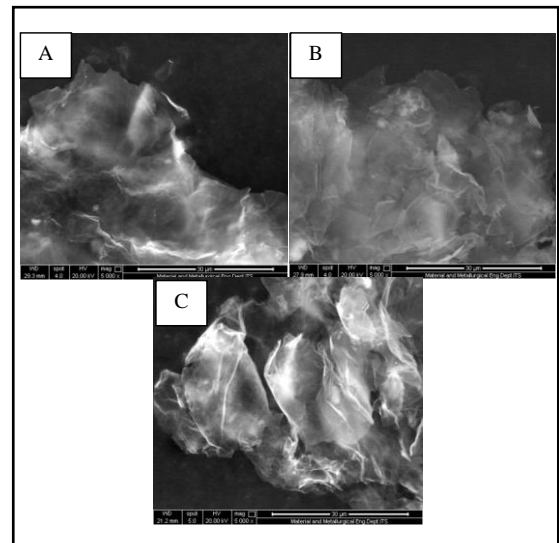
dengan proses oksidasi yang dilakukan pada grafit menyebabkan morfologi dari grafit berubah.



Gambar 7. Hasil Pengamatan SEM pada temperatur hydrothermal 160°C pada penambahan reduktor Zn (A) 0,8 gram (B) 1,6 gram, (C) 2,4 gram dengan perbesaran 5000X



Gambar 8. Hasil Pengamatan SEM pada temperatur hydrothermal 180°C pada penambahan reduktor Zn (A) 0,8 gram (B) 1,6 gram, (C) 2,4 gram dengan perbesaran 5000X



Gambar 9. Hasil Pengamatan SEM pada temperatur hydrothermal 200°C pada penambahan reduktor Zn (A) 0,8 gram (B) 1,6 gram, (C) 2,4 gram dengan perbesaran 5000X

Dari Gambar 8, 9, dan 10 terlihat bahwa seiring dengan bertambahnya temperatur, graphene yang terbentuk semakin menggumpal. Hal ini dapat terjadi karena dengan pemberian temperatur hydrothermal akan memberikan pengaruh yang besar terhadap struktur dan morfologi pada material yang dihasilkan.

*D. Hasil Pengujian Bilangan Iodin*

Pengujian bilangan iodine dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan graphene dalam menyerap ion iodine. Pengujian ini merupakan salah satu parameter untuk menentukan luas permukaan aktif dari material graphene berdasarkan kemampuan graphene dalam menyerap ion iodin.

Tabel 2. Hasil pengujian Bilangan Iodine Untuk variasi temperatur

No	Temperatur Hydrothermal (°C)	Massa Reduktor Zinc (gram)	Bilangan Iodine(mg/g)
1	160	0,8	902,04
2		1,6	2382,30
3		2,4	2560,46
4	180	0,8	4931,57
5		1,6	3141,98
6		2,4	848,39
7	200	0,8	11384,64
8		1,6	898,64
9		2,4	3396,38

Berdasarkan Tabel 2 didapatkan nilai bilangan iodine terbesar pada penambahan serbuk zinc sebesar 0,8 gram dengan temperatur pemanasan hydrothermal sebesar 200°C. Dengan hasil yang demikian dapat dikatakan bahwa, pada penambahan variasi reduktor dan pemanasan temperatur

hydrothermal tersebut material graphene yang dihasilkan memiliki daya serab terbesar dengan ion iodine.

Daya serab suatu materia dengan ion iodine dapat dijadikan sebuah indikasi bahwa material memiliki luas permukaan aktif yang besar, apabila memiliki interaksi yang kuat dengan ion iodine. Sehingga pada penambahan 0,8 gram Zn dengan pemanasan sebesar 200°C memiliki luas permukaan aktif terbesar.

### E. Hasil Pengujian Konduktivitas Elektrik

Tabel 3.  
Hasil Pengujian Nilai Konduktivitas Elektrik Untuk Variasi Massa

No	Temperatur Hydrothermal (°C)	Massa Reduktor Zinc (gram)	Tahanan (Ω)	Geometry Correction Factor	Resistivitas (S/cm)	Konduktivitas Elektrik (S/cm)
1	160	0,8	200	1,9454	389,08	0,00257
2		1,6	700	1,9454	1361,78	0,00073
3		2,4	600	1,9454	1167,24	0,00086
4	180	0,8	450	1,9454	875,43	0,00114
5		1,6	500	1,9454	972,7	0,00103
6		2,4	450	1,9454	875,43	0,00114
7	200	0,8	5	1,9454	9,727	0,10281
8		1,6	650	1,9454	1264,51	0,00079
9		2,4	800	1,9454	1556,32	0,00064

Dari Tabel 3 didapatkan data bahwa dengan penambahan reduktor zinc dihasilkan nilai konduktivitas elektrik yang cenderung menurun pada penambahan 1,6 gram zinc dan mengalami kenaikan kembali pada penambahan 2,4 gram zinc. dengan kenaikan temperatur dihasilkan nilai konduktivitas elektrik yang cenderung mengalami kenaikan pada temperatur 180°C dan mengalami penurunan pada temperatur 200°C. Hal ini disebabkan dengan pemanasan pada temperatur 180°C graphene yang dihasilkan mengalami defect yang terkecil sehingga memiliki nilai konduktivitas elektrik yang cenderung naik.

## IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dihasilkan graphene menggunakan reduktor serbuk zinc dan metode hydrothermal dengan variasi penambahan serbuk zinc 0,8gram, 1,6 gram, 2,4 gram dan variasi temperatur hydrothermal 160°C, 180°C, 200°C. Morfologi dari graphene yang dihasilkan berbentuk lembaran-lembaran transparan dan disertai dengan kerutan pada permukaannya. Nilai konduktivitas elektrik terbesar dihasilkan dari variasi penambahan serbuk zinc sebesar 0,8 gram dan temperatur hydrothermal sebesar 200°C dengan nilai sebesar 0,10281 S/cm dan bilangan iodine 11384,64

## DAFTAR PUSTAKA

[1] Ciesielski Artur, Samor Paolo. "Graphene via sonication assisted liquid-phase Exfoliation". Chem Soc Rev(2013)

- [2] Geng Zhi-gang et al. "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.
- [3] K.R. Koch et al. "Oxidation by Mn<sub>2</sub>O<sub>7</sub>: An impressive demonstration of the powerful oxidizing property of dimanganeseheptoxide". Journal of Chemical Education (1982). 59(11): p. 973
- [4] Marciano Daniela C et al. "Improved Synthesis of Graphene Oxide". ACS NANO (2010) vol 4 No.8:4806-4814
- [5] Shen Jiangfeng et al. "Facile Synthesis and Application of Ag-Chemically Converted Graphene Nanocomposite". Nano Res (2010) 3: 339-349
- [6] Zhou Tiannan et al. "A Simple And Efficient Methode To Prepare Graphene By Reduced Of Graphite Oxide With Sodium Hydrosulfite". Nanotechnology (2011) 22 045704
- [7] Zhu Yanwu, et al. "Graphene and Graphene Oxide: Synthesis, Properties, and Application". Adv.Mater (2010),22:3906-3924.
- [8]