

PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP NILAI KAPASITANSI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR GRAPHENE BERBASIS BAMBU BETUNG (*Dendrocalamus asper*)

Fia Amaliah, Sahara, dan Nurul Fuadi
Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar
Email: fiaamaliah@gmail.com, rarafis_uin@yahoo.co.id
nurul.fuadi@uin-alauddin.ac.id

Abstract: This study aims to analyze the effect of temperature variations on the capacitance of graphene material supercapacitor electrodes from bamboo material Betung (*Dendrocalamus asper*). The results obtained are graphene reduction can be synthesized by the hummer method which is reduced using Zn and continued with a thermal process with different temperature variations. The data obtained shows that from the GO, rGO 80 ° C, and 200 ° C rGO samples the largest capacitance value is the 200 ° C rGO sample, which is 8.87×10^{-3} F / gram with d-spacing 3.821082 Å, while the capacitance value for GO and rGO 80 ° C samples respectively 2.23×10^{-5} F / gram with d-spacing 3.668773 Å and 1.67×10^{-4} F / gram with d-spacing 3.680739 Å. This happens because the thermal effect is given, the greater the temperature given, the more pores are formed and the surface area will also be larger which results in more ion absorption and electron transfer on the electrode surface. However, if the given temperature is too large then the pore structure will be damaged and produce a low surface area. All samples that have the largest capacitance at the smallest pay rate are 10 mV / s.

Keywords: Graphene, supercapacitor, specific capacitance, d-spacing, XRD, cyclic voltammetry.

1. PENDAHULUAN

Dalam kehidupan yang semakin berkembang seiring dengan pertumbuhan penduduk, pengembangan wilayah dan pembangunan dari tahun ke tahun, kebutuhan akan pemenuhan energi pun semakin meningkat khususnya energi listrik. Merupakan suatu realita bahwa semakin meningkatnya kebutuhan energi listrik berbanding lurus dengan perkembangan teknologi. Adanya tuntutan konsumen yang semakin membutuhkan perangkat elektronik yang efisien, ringan dan tentunya dengan performa tinggi menuntut perkembangan ilmu material untuk menemukan sebuah material baru dalam memenuhi kebutuhan tersebut.

Salah satu tuntutan material tersebut adalah material yang dapat diaplikasikan pada rancangan perangkat elektronik yang futuristik dan setipis mungkin. Sebagai contoh, telepon selular dan laptop membutuhkan baterai sebagai piranti penyimpan energi namun kendalanya baterai memiliki rapat daya yang cukup kecil disamping itu juga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk menyerap energi listrik ke dalam piranti tersebut. Oleh sebab itu, dibutuhkan teknologi yang memiliki rapat energi dan rapat daya yang lebih besar serta waktu

penyerapan energi yang lebih singkat untuk memenuhi kebutuhan energi di masa mendatang. Dewasa ini, para peneliti terus mengembangkan perangkat penyimpan energi yang lebih efisien. Salah satu perangkat tersebut adalah superkapasitor dimana material dari perangkat ini diharapkan memiliki sifat fleksibel dengan konduktivitas elektrik yang tinggi. *Graphene* adalah material yang dapat menjawab kebutuhan tersebut. Salah satu bahan yang memiliki peluang besar dalam pembuatan superkapasitor adalah bambu.

Arang bambu (*bamboo charcoal*) adalah produk padat (solid) yang menggunakan bahan baku bambu melalui proses karbonisasi di bawah suhu tinggi (*under high temperature*). Sesuai penggunaan suhu karbonisasi, arang bambu dapat diklasifikasi menjadi arang suhu rendah (*low temperature charcoal*), *middle temperature charcoal*, dan *high temperature charcoal*.

Graphene merupakan alotrop karbon yang berbentuk lembaran tipis memiliki sifat mekanis yang cukup istimewa. *Graphene* adalah elemen struktur dasar beberapa alotrop karbon, termasuk grafit, CNT dan *fullerene*. Semenjak penemuannya pada tahun 2004, *graphene* telah menarik minat penelitian yang luar biasa dalam bidang teknologi penyimpanan energi karena sifatnya yang tidak biasa, seperti kekuatan mekanik yang besar, luas permukaan fisik yang besar, serta konduktivitas listrik tinggi (Lee dkk, 2010). Di antara material karbon, *graphene* merupakan material yang paling menjanjikan sebagai elektroda untuk aplikasi divais penyimpanan energi karena memiliki luas permukaan yang tinggi, relatif murah, memiliki konduktivitas listrik yang tinggi. Material ini memiliki mobilitas elektron sebesar $15.000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, konduktivitas termal sebesar $5.000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.

Graphene merupakan material ideal untuk fabrikasi superkapasitor karena memiliki luas permukaan yang besar yaitu $2630 \text{ m}^2/\text{g}$.

Pada tahun 2015, *graphene* berhasil disintesis dengan metode *Hummer* dan pereduksi Zn. Dari penelitian ini didapat hasil terbaik adalah *graphene Zn* 0,8 gram dengan nilai konduktivitas $2,906 \text{ S/cm}$ dan kapasitansi $90,623 \text{ F/gram}$ dengan nilai *d-spacing* $3,567 \text{ \AA}$ dan $2\theta = 24,94^\circ$.

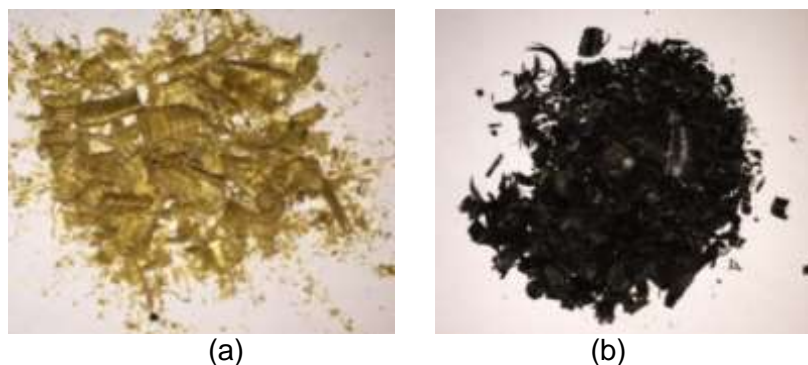
2. METODE PENELITIAN

Prosedur kerja pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu menyiapkan alat dan bahan, preparasi sampel arang bambu betung, sintesis *graphene oxide*, sintesis *graphene*, pembuatan elektroda *graphene*, dan pengujian struktur *graphene* dengan XRD, dan sifat kapasitif superkapasitor elektroda *graphene* dengan CV (*Cyclic Voltammetry*).

Proses Aktivasi Arang Bambu Betung

Bambu yang kering tersebut kemudian digerus seperti pada gambar 2.1. kemudian dibakar hingga terbentuk arang bambu. Arang bambu yang sudah terbentuk kemudian dihaluskan dengan blender dan diayak dengan ukuran 170 mesh . Serbuk arang yang dihasilkan kemudian dikarbonisasi pada suhu 400°C . Menurut Girrard (1992) dalam Annisa Yulian (2014). Pemilihan suhu karbonisasi berdasarkan komponen yang terdapat pada bambu. Komponen tersebut diantaranya selulosa, hemiselulosa, dan lignin, dimana terjadi penghilangan air yang masih terdapat di bambu pada suhu $120\text{-}150^\circ\text{C}$, kemudian terjadi karbonisasi hemiselulosa pada suhu $200\text{-}250^\circ\text{C}$, selanjutnya pada suhu 280-

320°C terjadi karbonisasi selulosa, dan pada suhu 400°C terjadi karbonisasi lignin.



Gambar 1 Proses pembuatan arang bambu. (a) Bambu yang sudah digerus. (b) Bambu yang sudah dibakar jadi arang

Proses selanjutnya adalah aktivasi menggunakan agen aktivasi $ZnCl_2$. Bambu yang sudah menjadi arang dikarbonisasi dengan *furnace* pada suhu 400°C selama 90 menit. Serbuk arang kemudian disaring dengan ukuran 170 *mesh*. Dilakukan pencampuran serbuk arang bambu dengan larutan $ZnCl_2$ 8% b/v dengan perbandingan 1:5 kemudian dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* hingga mendidih selama 90 menit. Setelah itu disaring dengan corong *buchner* kemudian dicuci dengan aquades berulang-ulang hingga pH netral. Endapan hasil penyaringan kemudian dioven pada suhu 60°C selama 4 jam dan dipanaskan di dalam *furnace* pada suhu 800°C selama 3 jam.

Sintesis Graphene Oxide

Bambu yang sudah menjadi arang dikarbonisasi dengan *furnace* pada suhu 400°C selama 90 menit. Serbuk arang kemudian disaring dengan ukuran 170 *mesh* kemudian mencampur serbuk arang bambu dengan larutan $ZnCl_2$ 8% b/v dengan perbandingan 1:5 kemudian dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* hingga mendidih selama 90 menit dan disaring dengan corong *buchner* kemudian dicuci dengan aquades berulang-ulang hingga pH netral. Endapan hasil penyaringan kemudian dioven pada suhu 60°C selama 4 jam.

Sintesis Reduksi Graphene (rGO) 80°C

Proses pembuatan reduksi *graphene oxide* 80°C dimulai dari hasil GO yang diperoleh sebelumnya, dimana serbuk GO dilarutkan dalam aquades kemudian dilanjutkan dengan proses sonikasi agar didapatkan larutan yang homogen. Selanjutnya direduksi menggunakan Zn. Untuk memperoleh serbuk GO maka endapan hasil penyaringan dipanaskan pada suhu 80°C selama 12 jam.

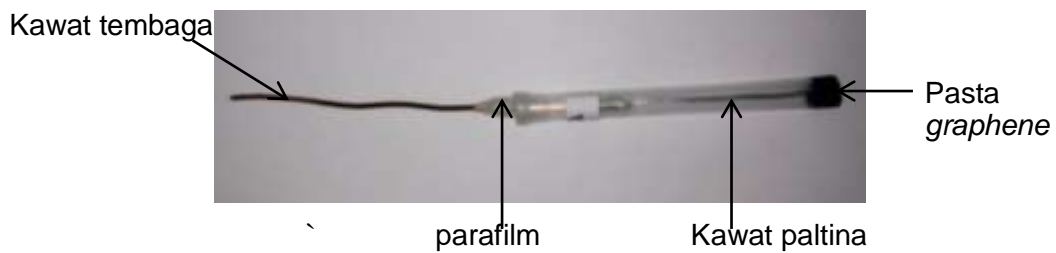
Proses Pembuatan Reduksi Graphene Oxide 200°C

Proses pembuatan reduksi *Graphene Oxide* 200°C adalah dengan melanjutkan proses termal pada reduksi *Graphene Oxide* 80°C, yaitu dengan memanaskan sampel rGO 80°C di dalam *furnace* pada suhu 200°C.

Proses pembuatan elektroda pada Sampel GO, rGO 80°C dan rGO 200°C

Proses pembuatan elektroda dengan menyambungkan kawat platina dan kawat tembaga menggunakan solder dan merekatkannya dengan timah

kemudian memasukkan kawat ke dalam pipet dan direkatkan menggunakan parafilm. Sampel dicampur dengan paraffin dengan perbandingan 1:1 dan diaduk di atas *hot plate* agar meleleh hingga homogen menggunakan spatula pada *petri dish*. Pasta elektroda yang terbentuk dimasukkan ke dalam badan elektroda dengan cara ditekan hingga memadat. Elektroda *graphene* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Elektroda *graphene*

Perhitungan Nilai *d-spacing* dan Kapasitansi Elektroda GO, rGO 80°C dan rGO 200°C

Untuk menghitung besarnya *d-spacing* pada setiap sampel dengan persamaan Bragg:

$$d_{hkl} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta_{hkl}} \quad (1)$$

d adalah *d-spacing* atau jarak antar bidang (Å), λ adalah panjang gelombang (Å) dan θ adalah sudut difraksi (°).

Untuk menghitung nilai kapasitansi spesifik digunakan persamaan:

$$C_s = \frac{\int I \, dV_c}{2 m v \Delta E} \quad (2)$$

dengan C_s adalah kapasitansi spesifik (F/g), I adalah arus (A), v adalah laju scan (V/s), dan m adalah massa *graphene* pada elektroda (gram) serta ΔE adalah Jendela potensial (V)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan *d-spacing* dengan menggunakan XRD pada Sampel GO, rGO 80°C dan rGO 200°C

Untuk mengetahui jarak antar bidang (*d-spacing*), digunakan persamaan Bragg yang dihubungkan dengan λ dan sudut 2θ pada hasil pengujian XRD seperti pada tabel 1. Jarak antar bidang (*d-spacing*) dapat diketahui melalui hasil analisa *X-Ray Diffraction* (XRD). Material yang akan dianalisa cukup disiapkan sekitar 0,1 gram, kemudian meletakkan pada sampel holder secara merata pada permukaan yang mendatar, selanjutnya mengatur besarnya tegangan dan arus yang akan digunakan.

Tabel 1 Hasil pengujian sampel *graphene oxide*, reduksi *graphene oxide* 80° dan reduksi *graphene oxide* 200°

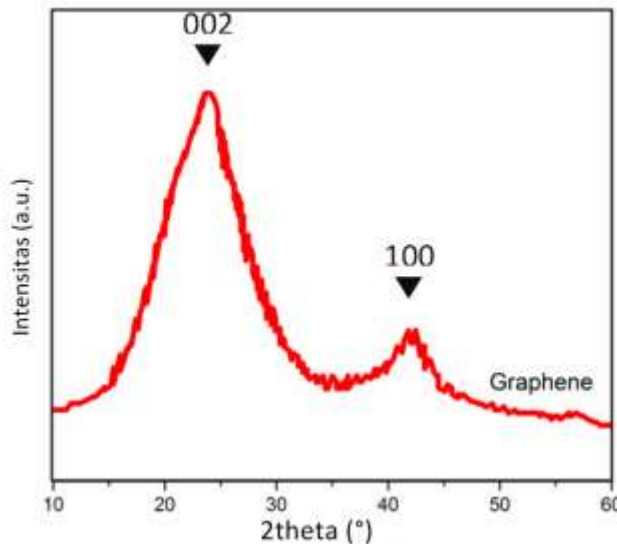
Graphene oxide : Serbuk A
 Reduksi *graphene oxide* 80°C : Serbuk B
 Reduksi *graphene oxide* 200°C : Serbuk C

Sampel	Hasil Pengujian Material <i>Graphene</i>		
	2θ (°)	λ (Å)	Intensitas
Serbuk A	24,16	1,54	433
Serbuk B	24,24	1,54	584
Serbuk C	23,26	1,54	522

Pengambilan data difraksi dilakukan dalam rentang sudut difraksi 2θ 10°-60°, dengan kecepatan baca waktu per detik dan menembakkan sinar-X menuju sampel, sehingga akan membuat detektor berputar sesuai dengan rentang sudut difraksi 2θ yang digunakan. Selanjutnya setelah ditembakkan maka akan terbaca pada monitor atau layar komputer grafik difraktogram yaitu grafik hubungan intensitas dengan 2θ.

Grafik difraktogram ini kemudian diinterpretasi dengan menggunakan bantuan *Software Match*. Kemudian software ini akan memberikan informasi tentang struktur kristal yang terdapat pada sampel. Selanjutnya menghitung besarnya *d-spacing* pada setiap sampel dengan persamaan (1).

Pengujian dengan XRD menggunakan sumber target Cu-Ka1 dengan λ sebesar 1,540590 Å. Dapat dilihat perbedaan posisi puncak yang mengindikasikan adanya perubahan struktur dari karbon aktif menjadi *grapheme oxide* hingga menjadi reduksi *grapheme oxide*.

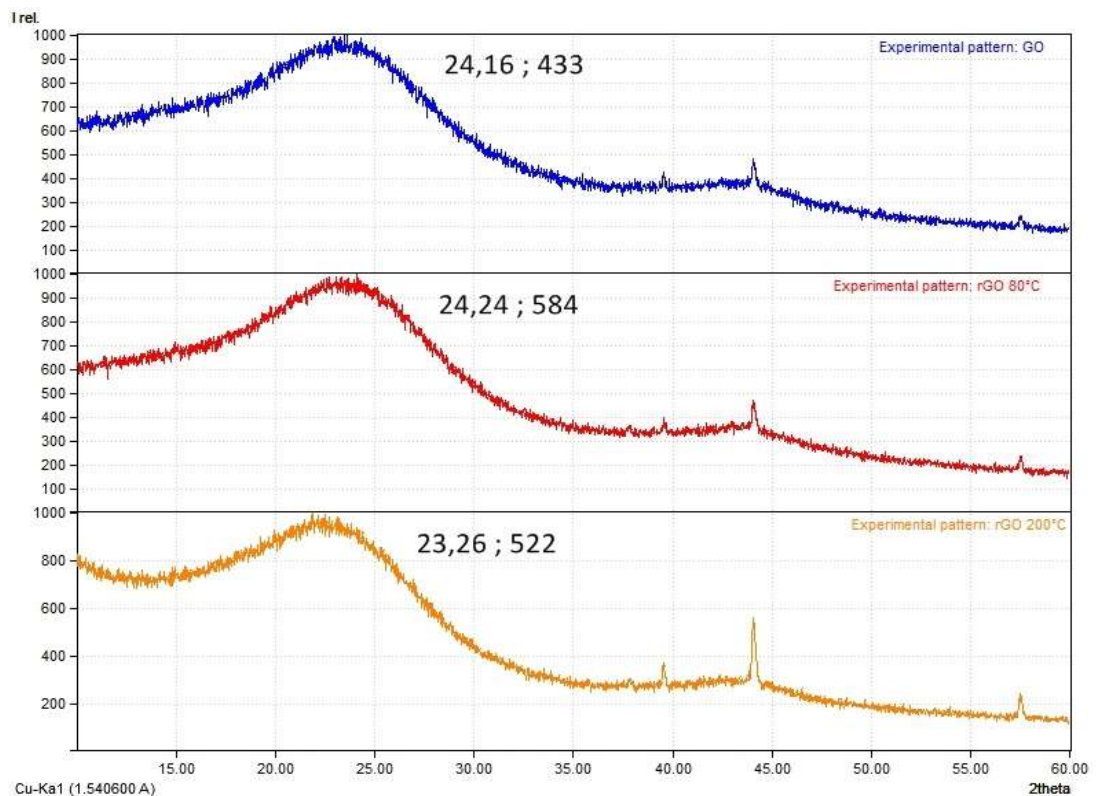


Gambar 3. Contoh pola difraksi analisa XRD *graphene*
 Sumber: Zhang (2014)

Hasil yang dapat dianalisa pada grafik difraktogram berupa hubungan antara intensitas hamburan dengan sudut 2θ. Pada gambar 3 dapat dilihat hasil

pengujian sampel dengan XRD yang dilakukan peneliti sebelumnya, Zhang (2014), *graphene* memiliki dua puncak pola difraksi pada sudut $2\theta = 23^\circ$ dan 43° .

Pada gambar 4 tentang analisa hasil pengujian sampel *graphene oxide*, reduksi *graphene oxide* dengan proses termal 80°C dan reduksi *graphene oxide* dengan proses termal 200°C dengan XRD. Pengujian ini dilakukan pada sudut $2\theta=10^\circ-60^\circ$. Berdasarkan grafik difraktogram pada gambar 4, terdapat kesesuaian dengan pola difraksi hasil penelitian sebelumnya, Zhang (2014), dimana posisi puncak difraksi pada *graphene* yaitu $2\theta = 23^\circ$ dan 43° . Sementara dari hasil pengujian *graphene* dari bambu betung memiliki puncak $23,26^\circ$, dan nilai *d-spacing* yang dihasilkan untuk *graphene* juga terdapat kesesuaian dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Willi Von Allen Berutu (2016), dimana nilai *d-spacing* yang diperoleh untuk *graphene* dengan temperatur 200°C adalah $3,71 \text{ \AA}$, sementara dari hasil pengujian *graphene* dari bambu betung dengan temperatur 200°C adalah $3,82 \text{ \AA}$.



Gambar 4 Hubungan antara Intensitas dengan sudut 2θ pada pola difraksi sinar-X dari sampel *graphene oxide*, reduksi *graphene oxide* 80°C dan reduksi *graphene oxide* 200°C

Perhitungan jarak antar bidang (*d-spacing*) dapat menggunakan persamaan Bragg. Analisa jarak antar bidang dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi temperatur dan perlakuan sintesis yang diberikan terhadap perbandingan jarak antar bidang maka diperoleh *d-spacing* untuk masing-masing seperti yang disajikan dalam tabel 2.

Tabel 2 Hasil perhitungan *d-spacing*

Graphene oxide : Serbuk A
 Reduksi *graphene oxide* 80°C : Serbuk B
 Reduksi *graphene oxide* 200°C : Serbuk C

No	Sampel	θ_{hkl} (°)	<i>d-spacing</i> (Å)
2	Serbuk A	12.08	3.680739
3	Serbuk B	12.12	3.668773
4	Serbuk C	11.63	3.821082

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat perbedaan jarak antar bidang pada setiap sampel, dari *graphene oxide* ke reduksi *graphene* 80°C terjadi sedikit penurunan *d-spacing* yaitu dari 3.680739 Å menjadi 3.668773 Å. Hal ini terjadi karena menurut Rahman (2015) proses reduksi *graphene oxide* telah berhasil dilakukan disebabkan berkurangnya gugus fungsional yang terdapat pada *graphene oxide*. Namun dapat dilihat dari sampel rGO 80°C menjadi rGO 200°C terjadi peningkatan *d-spacing* yaitu dari 3.668773 Å menjadi 3.821082 Å. Hal ini terjadi karena perlakuan termal yang diberikan pada kedua sampel adalah 80°C, namun untuk sampel rGO 200°C dilanjutkan dengan proses termal di dalam *furnace* dengan suhu 200°C.

Penentuan Nilai Kapasitansi dengan menggunakan CV pada Sampel GO, rGO 80°C dan rGO 200°C

Hasil pengujian dengan CV dapat dilihat pada tabel 3 yang menunjukkan nilai laju payar, massa sampel, dan jendela potensial.

Sampel hasil penelitian diuji dengan *cyclic voltammetry* untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik elektroda yang dibuat dari bahan sampel jika digunakan sebagai elektroda kerja.

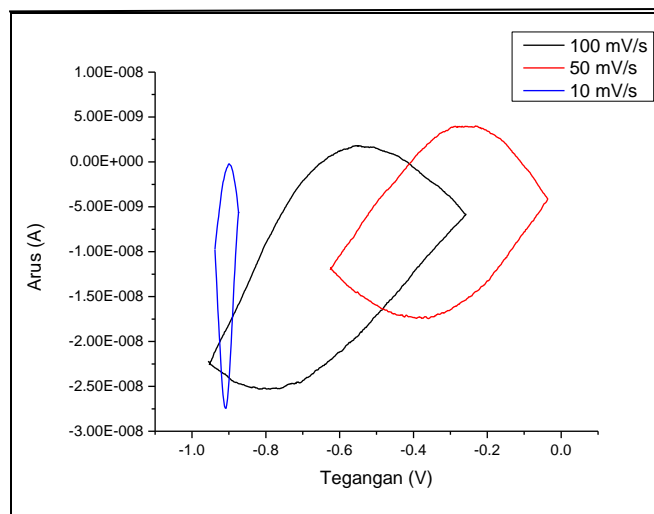
Tabel 3 Hasil pengujian sampel dengan *Cyclic Voltammetry*

Graphene oxide : Elektroda A
 Reduksi *graphene oxide* 80°C : Elektroda B
 Reduksi *graphene oxide* 200°C : Elektroda C

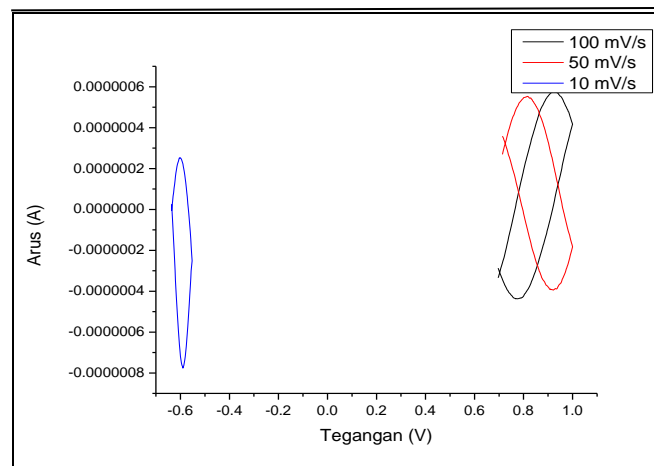
Elektroda	Laju payar (mV/s)	Massa sampel (gram)	Jendela potensial (V)
A	100	0,05	0.698
	50	0,05	0.59
	10	0,05	0.064
B	100	0,05	0.304
	50	0,05	0.286
	10	0,05	0.084
C	100	0,05	1.538
	50	0,05	0.308
	10	0,05	0.126

Instrumen yang digunakan pada pengujian ini adalah Potentiostats EA161 dengan tiga elektroda yaitu elektroda Pt, elektroda Ag/AgCl dan elektroda kerja untuk masing-masing sampel. Pengujian ini dilakukan dengan laju payar bervariasi, yaitu 100 mV/s, 50 mV/s dan 10 V/s. Pemilihan laju payar dilakukan untuk mencapai bentuk kurva voltamogram yang memiliki siklus yang berulang. Jendela potensial yang digunakan bergantung pada pola grafik voltamogram, yaitu berbentuk persegi panjang *rectangular* yang menandakan EDLC ideal.

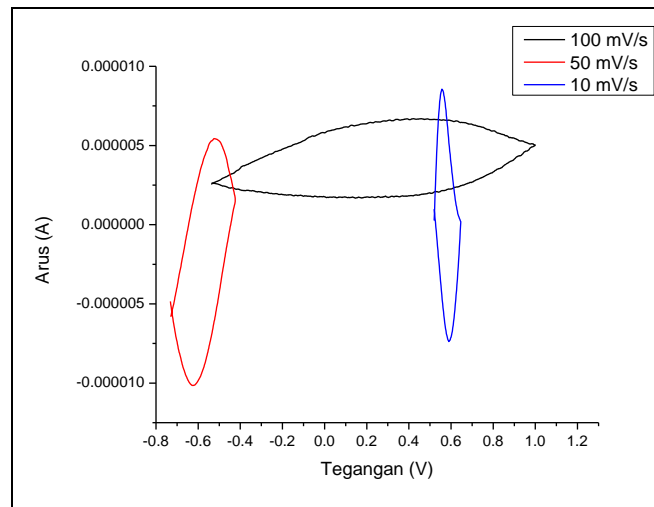
Hasil pengujian dengan *cyclic voltammetry* dapat dianalisa dengan melihat kurva voltamogram, seperti pada gambar 3. Dari kurva menunjukkan hubungan antara tegangan yang berada pada sumbu X dan arus berada pada sumbu Y. Pada gambar terlihat siklus yang berulang.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3 Hubungan antara tegangan V (V) dan arus I (A) untuk (a) GO, (b) rGO 80°C, (c) rGO 200°C

Dari ketiga sampel yang diuji, sampel rGO 200°C yang memiliki nilai kapasitansi terbesar yaitu $8,87 \times 10^{-3}$ F/gram. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan perlakuan setelah proses termal dalam oven yang dilanjutkan dengan proses termal sebesar 200°C dalam *furnace* akan menambah jumlah pori yang terbentuk pada *graphene* dan semakin banyak pori yang terbentuk maka akan menambah nilai kapasitansi superkapasitor *graphene*. Untuk mengetahui nilai kapasitansi pada setiap sampel, dapat digunakan persamaan (2) sehingga diperoleh nilai kapasitansi seperti yang disajikan pada tabel 4.

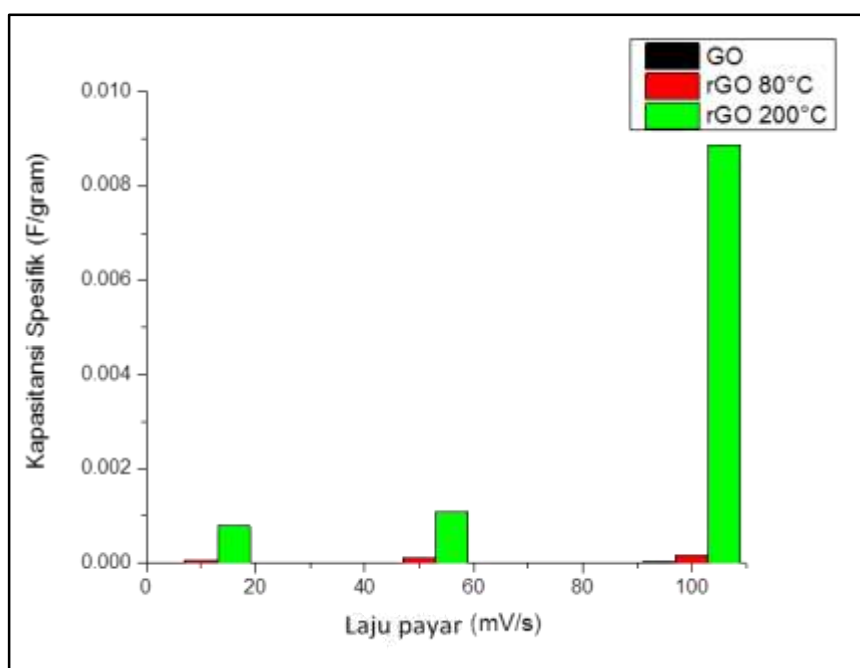
Tabel 4 Nilai kapasitansi untuk sampel GO, rGO 80°C dan rGO 200°C

Graphene oxide : Elektroda A
 Reduksi *graphene oxide* 80°C : Elektroda B
 Reduksi *graphene oxide* 200°C : Elektroda C

Elektroda	Laju payar (mV/s)	Kapasitansi (F/g)
A	100	2.44×10^{-6}
	50	3.50×10^{-6}
	10	2.23×10^{-5}
B	100	6.49×10^{-5}
	50	1.21×10^{-4}
	10	1.67×10^{-4}
C	100	7.89×10^{-4}
	50	1.10×10^{-3}
	10	8.87×10^{-3}

Pada tabel 4 dapat dilihat, setiap sampel diberi variabel kontrol yaitu laju payar dan jendela potensial. Semakin rendah laju payar yang diberikan maka semakin besar nilai kapasitansi yang diperoleh. Hal ini terjadi karena menurut

Conwey, B. E., (2009) dalam Diah Ayu Safitri (2017), bahwa laju payar mempengaruhi laju aliran ion-ion dari elektrolit menuju ke dalam elektroda *graphene*. Dengan laju payar yang tinggi maka laju aliran tegangan menjadi cepat, akibatnya waktu yang lebih singkat bagi ion-ion elektrolit untuk berdifusi ke dalam *graphene* sehingga membentuk *double layer* sedikit. Sedangkan pada laju payar yang rendah, laju aliran tegangan menjadi lambat, akibatnya waktu bagi ion-ion elektrolit untuk berdifusi ke dalam *graphene* lebih lama dan membentuk *double layer* lebih banyak. Sehingga nilai kapasitansi tertinggi dari hasil penelitian ini terdapat pada laju payar terendah, yaitu 8.87×10^{-3} F/g.



Gambar 4 Hubungan antara laju payar dengan kapasitansi spesifik

Data yang diperoleh menunjukkan bahwa dari sampel GO hingga rGO 200°C nilai kapasitansi semakin besar, hal ini terjadi karena berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Rosalina (2017), peningkatan suhu mengakibatkan luas permukaan spesifik mengalami kenaikan, sementara suhu yang terlalu tinggi akan mengakibatkan luas permukaan mengalami penurunan dan karena semakin meningkatnya luas permukaan maka akan semakin banyak ion baik kation maupun anion yang terserap ke dalam elektroda. Sehingga meningkatnya kapasitansi spesifik disebabkan oleh luas permukaan spesifik yang besar karena banyak terjadi penyerapan ion dan transfer elektron pada permukaan elektroda.

Namun hasil penelitian terdahulu oleh Diah Ayu Safitri (2017), diperoleh nilai kapasitansi sangat jauh berbeda dibanding hasil penelitian sintesis *graphene* dari bambu, dimana nilai kapasitansi yang diperoleh sebesar 208,47 F/gram. karena pada sintesis *graphene* yang dilakukan telah dieksplorasi dengan pendopingan nitrogen. Menurut Diah Ayu Safitri (2017), *graphene* dengan doping nitrogen memiliki kapasitansi yang lebih besar hal ini dikarenakan doping nitrogen menyebabkan pori mikro pada *graphene* dengan doping nitrogen pada *graphene* dapat meningkatkan binding energi, yang menyebabkan banyak

gerakan ion pada luas permukaan elektoda dan menunjukkan kapasitansi yang lebih tinggi. Perbandingan nilai kapasitansi yang diperoleh oleh peneliti terdahulu sangat jauh berbeda karena beberapa faktor, diantaranya, metode pembuatan elektroda yang digunakan, perbandingan massa parafin dan karbon, dan proses pembuatan elektroda pasta *graphene* yang kurang padat sehingga masih terdapat ruang di dalam elektroda. Namun pada penelitian yang telah dilakukan Harfianti (2016), dengan menggunakan metode pembuatan elektroda yang sama namun dari bahan elektroda dari pasta karbon termodifikasi, diperoleh nilai kapasitansi tertinggi sebesar 15,94 $\mu\text{F/g}$, sementara pada penelitian ini diperoleh nilai kapasitansi tertinggi sebesar 8870 $\mu\text{F/g}$.

4. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa reduksi *graphene* telah dapat disintesis dengan metode hummer yang direduksi menggunakan Zn dan dilanjutkan dengan proses termal dengan variasi temperatur yang berbeda. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa dari sampel GO, rGO 80°C, dan rGO 200°C nilai kapasitansi yang terbesar adalah sampel rGO 200°C, yaitu sebesar 8.87×10^{-3} F/gram dengan *d-spacing* 3.821082 Å, sementara nilai kapasitansi untuk sampel GO dan rGO 80°C berurutan adalah $2,23 \times 10^{-5}$ F/gram dengan *d-spacing* 3.668773 Å dan $1,67 \times 10^{-4}$ F/gram dengan *d-spacing* 3.680739 Å.

DAFTAR PUSTAKA

- B. Y. Zhu, et al. dalam Diyan Unmu Dzujah, *Charge-Discharge Model Superkapasitor rGO dalam Sistem Elektrolit KCl*. Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika Vol. 02, No. 01, 2018.
- Berutu, Willy Von, *Analisis Pengaruh Temperatur Hidrotermal terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Berbahan Graphene*. Surabaya, ITS. 2016.
- Khadifah, Filla Mulyawati dkk. *Sintesis Graphene Berbasis Arang Tempurung Kelapa dengan Metode Hummers Termodifikasi*. Surabaya. ITS. 2017.
- L.L. Zhang et al. dalam Diyan Unmu Dzujah, *Charge-Discharge Model Superkapasitor rGO dalam Sistem Elektrolit KCl*. Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika Vol. 02, No. 01. 2018.
- Safitri Diah Ayu, *Analisis Pengaruh Doping Nitrogen Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Berbahan Graphene*. Jurnal Teknik ITS Vol. 6, No. 1, ISSN: 2337-3539. 2017.
- Suheryanto, Dwi. *Pembuatan Arang Bambu (Bamboo Charcoal) ada Suhu Rendah untuk Produk Kerajinan*. Yogyakarta: Bali Besar Kerajinan dan Batik. 2013.
- Suwandana Rahman Faiz, *Analisis Pengaruh Massa Reduktor Zinc terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Material Graphene*. Jurnal Vol. 4, No. 1, (2015) ISSN: 2337-3539.
- Yulian, Annisa. *Produksi Karbon Aktif dari Bambu Andong (Gigantochloa verticillata) Menggunakan Activating Agent ZnCl_2 dan CO_2* . Depok: Universitas Indonesia. 2014.