

Pengaruh Variasi Waktu Tahan Hidrotermal terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Material Graphene

Achmad Azmy Adhytiawan 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— Seiring dengan meningkatnya kebutuhan barang-barang elektronik. Dibutuhkan adanya media penyimpan energi yang mampu dihibridisasi dengan media penyimpanan energi yang lain. Media penyimpan energi tersebut adalah superkapasitor. Superkapasitor mampu melakukan proses pengisian (*charging*) hanya dalam waktu 2-5 menit. Untuk meningkatkan kapasitansi kapasitor diperlukan suatu material yang memiliki konduktivitas elektrik tinggi dan dapat diaplikasikan pada elektroda superkapasitor. Sifat tersebut dimiliki oleh material graphene. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu tahan hidrotermal graphene terhadap nilai kapasitansi superkapasitor dari material graphene. Graphene memiliki konduktivitas elektronik dan luas permukaan yang tinggi sehingga diharapkan dapat meningkatkan kapasitansi superkapasitor. Scanning Electron Microscopy (SEM), X-ray Diffraction (XRD), dan Four Point Probe (FPP) digunakan untuk menganalisa sifat-sifat fisik. Selain itu, Cyclic Voltammetry (CV) digunakan sebagai identifikasi sifat-sifat elektrokimia dalam hal ini adalah sifat kapasitansi superkapasitor material graphene. Dari hasil XRD, SEM, dan FPP menunjukkan bahwa material yang disintesis adalah graphene. Dan nilai konduktivitas listrik tertinggi sebesar 2,833 S/cm. Dari pengujian CV nilai kapasitansi yang didapat pada scan rate 5 mV/s mencapai 190,01 F/g yang didapatkan pada graphene yang dihidrotermal selama 18 jam.

Kata kunci: Graphene, Hidrotermal, Superkapasitor, Ultrasonikasi

I. PENDAHULUAN

Di zaman yang semakin modern ini kebutuhan manusia akan alat-alat elektronik semakin meningkat. Sehingga dalam hal ini konsumsi listrik dunia akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia akan barang-barang elektronik. Oleh karena itu dibutuhkan inovasi baru dalam hal penyimpanan energi listrik. Media penyimpan listrik berbasis elektrokimia saat ini adalah baterai, kapasitor, dan *fuel cell*. Untuk meningkatkan kapasitas penyimpanannya diperlukan inovasi terbaru. Dalam hal ini penambahan material *graphene* dalam media penyimpan energi listrik diatas.

Graphene merupakan material yang sangat berkembang saat ini, menarik untuk dikaji oleh para peneliti dari berbagai bidang ilmu baik Fisika, Kimia, Biologi maupun bidang Teknik material. Pada dasarnya *Graphene* adalah allotropi karbon yang menjadi struktur dasar untuk pembentukan material berbasis karbon seperti grafit (*stacked Graphene*), CNT (beberapa lapis *Graphene* yang digulung melingkar terhadap aksial) dan *Fullerene* [1].

Kapasitor elektrokimia adalah kapasitor jenis khusus yang bekerja berdasarkan *charging* (pemasukan muatan) dan *discharging* (pelepasan muatan) pada *interface* elektroda-elektrolit dari material-material yang mempunyai luas spesifik yang tinggi seperti material karbon yang berpori atau beberapa oksida logam yang berpori [2].

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Haniffudin (2014) didapatkan nilai kapasitansi dari kapasitor sebesar 491.36 F/gram. Nilai tersebut didapatkan ketika temperatur hidrotermal 160 °C dan waktu ultrasonikasi 1.5 jam.

Pada penelitian ini dilakukan reduksi grafit oksida menjadi *graphene* dengan variasi waktu tahan hidrotermal 12, 18, dan 24 jam. Setelah didapatkan *graphene*, penelitian ini dilanjutkan dengan diaplikasikannya *graphene* sebagai elektroda superkapasitor sehingga diharapkan dengan penambahan *graphene* tersebut akan meningkatkan kapasitansi elektroda superkapasitor.

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 H₂SO₄ 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 NaNO₃ dan 8 g KMnO₄ secara bertahap selama 3 jam. Setelah 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. Setelah 4 jam larutan akan mengental kemudian ditambahkan aquades 120-200 ml sampai larutan encer kembali. Setelah 24 jam *stirring* dimatikan dan ditambahkan H₂O₂ ke dalam larutan. Penambahan H₂O₂ menyebabkan warna larutan menjadi kuning muda. Setelah 30 menit, larutan di-*centrifuge* untuk memisahkan antara endapan grafit oksida dengan

pengotornya. Endapan grafit oksida akan berwarna kuning dan endapan pengotornya akan berwarna putih. Setelah di-centrifuge, HCl ditambahkan ke grafit oksida untuk menghilangkan pengotor logam yang terlarut. Lalu dilakukan pencucian berkala pada grafit oksida dengan menggunakan aquades sebanyak 1000 ml 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 diuji dengan $BaCl_2$ untuk memastikan kandungan SO_4^{2-} di dalam larutan dan uji pH untuk memastikan tingkat keasaman larutan maka larutan grafit oksida. Uji $BaCl_2$ dilakukan dengan menambahkan larutan $BaCl_2$ ke dalam sampel larutan grafit oksida dan dinyatakan berhasil jika tidak dihasilkan 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 12 jam.

B. Sintesis Graphene

Dalam penelitian ini 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. Ditambahkan 1,6 g serbuk Zn ke dalam larutan GO yang telah memiliki suasana asam. Setelah Zn bereaksi dengan GO sehingga menghasilkan gelembung-gelembung gas, 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 dihidrotermal untuk mereduksi gugus oksida rGO dan membentuk serbuk rGO yang berukuran nano. Proses hidrotermal dilakukan selama 12, 18, dan 24 jam. Larutan rGO dimasukkan ke dalam wadah teflon, yang kemudian dimasukkan ke dalam *autoclave* dan dikencangkan dengan skrup agar benar-benar vakum. Air dalam larutan rGO akan mencapai kondisi kritis dan memiliki tekanan tinggi akibat temperatur yang tinggi sehingga dapat berperan sebagai agen kristalisasi fasa.

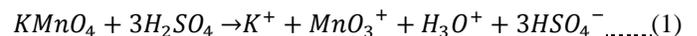
C. Pembuatan Elektroda Superkapasitor Material Graphene

Elektroda superkapasitor material *graphene* dibuat dengan cara mencelupkan *nickel foam* ukuran 10 cm x 1 cm di dalam larutan grafena (40 mg/ml). Bagian yang tercelup adalah sebesar 1 cm². Lalu di *stirring* selama 30 menit, kemudian dilanjutkan dengan ultrasonikasi 10 menit untuk memastikan grafena telah masuk ke dalam pori-pori *nickel*

foam. Setelah itu, spesimen di *drying* di dalam *muffle furnace* pada T=110°C selama 12 jam. Setelah kering, spesimen di press dengan menggunakan mesin pengepres dengan waktu 10 detik, lalu di rendam di dalam larutan elektrolit Na_2SO_4 1 M yang akan digunakan, selama 10 jam sebelum pengujian dimulai.

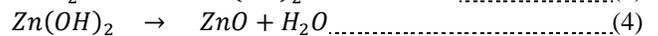
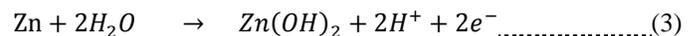
III. HASIL DAN DISKUSI

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 3.1 dan 3.2 [3]. Proses oksidasi ini hanya dapat berlangsung ada kondisi asam, sehingga digunakan H_2SO_4 sebagai pembuat suasana asam.



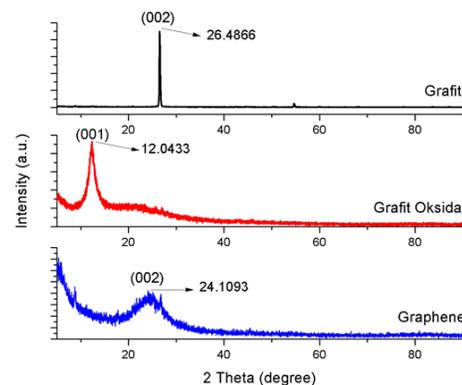
Proses sintesis *graphene* memerlukan *graphene* oksida sebagai prekursor. *Graphene* oksida diperoleh dari proses pengelupasan grafit oksida di dalam air dengan metode ultrasonikasi. Pengelupasan ini diakibatkan oleh gelombang ultrasonik yang memiliki daerah frekuensi gelombang lebih dari 20.000 Hz. 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 persamaan (3)-(5) [4]. Hasil dari reaksi ini adalah ion H^+ yang menginisiasi proses reduksi.



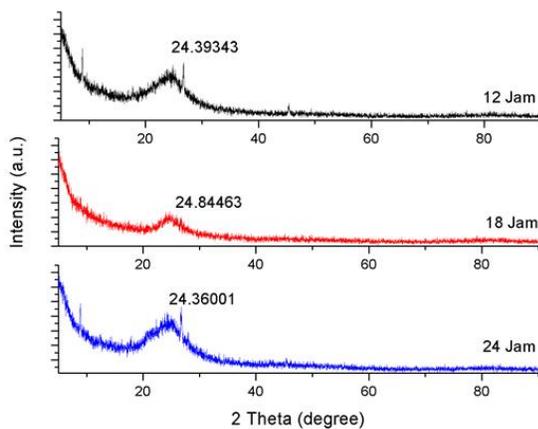
A. Hasil Pengujian XRD

Pengamatan struktur grafit, grafit oksida, dan rGO dilakukan menggunakan X-Ray Diffraction (Philips Analytical). Sampel grafit oksida berbentuk lembaran sedangkan rGO (*graphene*) berbentuk 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 dari grafit, grafit oksida, dan rGO dapat dilihat pada Gambar 4.1 Grafit teridentifikasi pada peak $2\theta = 26,4866^\circ$ (JCPDS-41-1487). Pada grafit oksida peak $2\theta = 26,4866^\circ$ tidak tampak, tetapi terbentuk peak pada $2\theta = 12,0433^\circ$. Hal ini menunjukkan bahwa grafit telah teroksidasi seluruhnya menjadi grafit oksida. Grafit oksida memiliki d -spacing = 7.3400 Å, lebih lebar daripada grafit dengan d -spacing = 3.3612 Å. Hal ini menunjukkan adanya gugus-gugus fungsi oksigen dalam lapisan grafit oksigen. Sedangkan rGO teridentifikasi pada peak $2\theta = 24.1093$ dengan d -spacing = 3.6869 Å. Nilai d -spacing yang menjadi lebih kecil menunjukkan bahwa grafit oksida telah tereduksi menjadi graphene. Selain itu nilai d -spacing rGO yang lebih besar daripada grafit mengindikasikan bahwa telah terjadi pengelupasan lapisan grafit menjadi *single layer graphene* [5].



Gambar 2. Perbandingan hasil pengujian XRD pada variasi waktu hidrotermal 12, 18, dan 24 jam

Untuk mengetahui pengaruh variasi waktu hidrotermal 12, 19, dan 24 jam terhadap komposisi kimia dan ukuran Kristal maka dilakukan perbandingan data XRD seperti pada Gambar 2. Pada gambar 4.2 di atas dapat dilihat bahwa dengan perubahan waktu tahan hidrotermal; 12 jam, 18 jam, dan 24 jam; hasil XRD yang terbentuk menunjukkan bahwa graphene memiliki puncak 2θ yang lebar (23-24). Intensitas pada sampel 18 jam menurun karena penurunan ketebalan yang dapat dilihat pada gambar 4.

Tabel 1. Perhitungan Jarak Antar Layer pada Grafit, Grafit Oksida dan Graphene

No	Waktu Hidrotermal (Jam)	Jarak Antar Layer (Å)
1	12	3.6446
2	18	3.5795
3	24	3.6496
Grafit		3.3612
Grafit Oksida		7.3400

Perhitungan jarak antar layer (*interlayer distance*) dari grafit, grafit oksida, dan grafena dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan Bragg (3.6) bertujuan untuk

mengetahui bagaimana pengaruh variasi waktu tahan hidrotermal *graphene* 12, 18, dan 24 jam terhadap jarak antar layer (*interlayer distance*) serta membandingkannya dengan jarak antar layer (*interlayer distance*) yang dimiliki oleh grafit dan grafit oksida. Hasil dari perhitungan jarak antar layer ditabelkan pada tabel 1

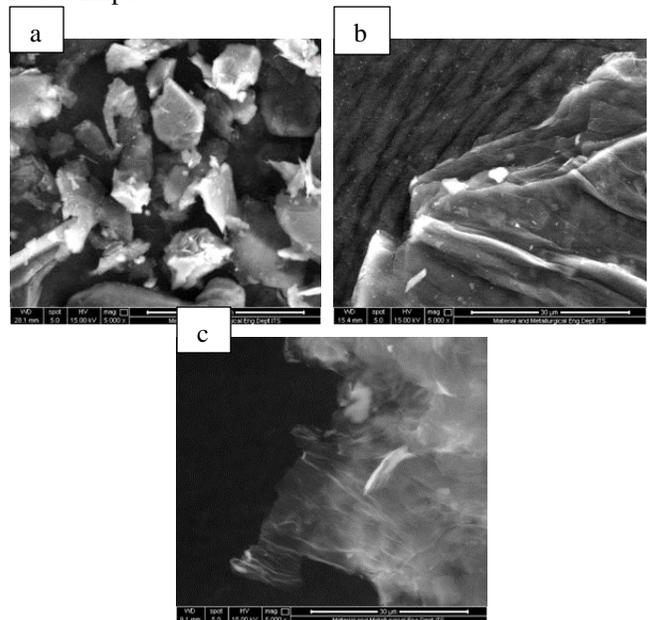
$$d_{spacing} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \dots \dots \dots (6)$$

Dari tabel 1, dapat dilihat bahwa telah terjadi peningkatan jarak antar layer dari grafit ke grafit oksida. Hal ini terjadi disebabkan karena terbentuknya gugus fungsional oksigen akibat proses oksidasi grafit menjadi grafit oksida serta peningkatan kadar air di antara lapisan grafit oksida. Pada *graphene*, nilai jarak antar layer menurun lagi mendekati nilai dari grafit, yang mengindikasikan adanya proses reduksi dengan menggunakan zink sebagai reduktor yang telah menghilangkan gugus fungsional oksigen dan air, sehingga diperoleh struktur grafena, yang hanya berisi atom karbon, sebagaimana halnya grafit.

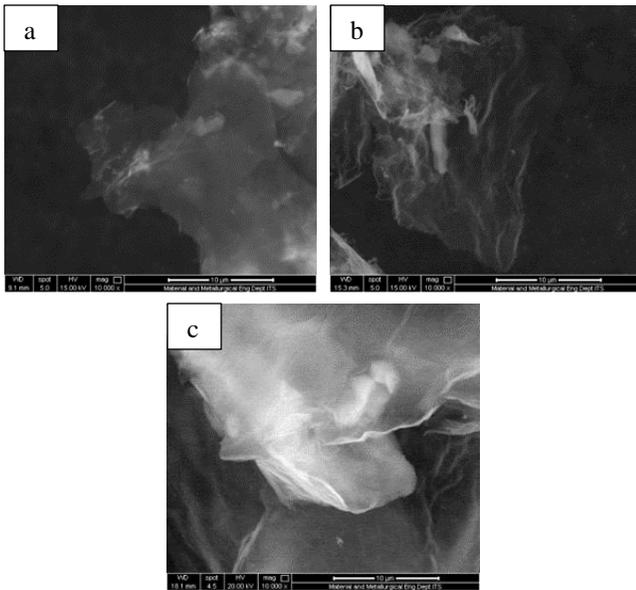
Dari tabel di atas juga disebutkan bahwa pada waktu tahan hidrotermal 18 jam, jarak antar layernya paling mendekati jarak antar layer yang dimiliki oleh grafit hal ini menunjukkan bahwa *graphene* yang dihasilkan lebih bagus dibandingkan pada saat proses hidrotermal 12 dan 24 jam.

B. Hasil Pengujian SEM

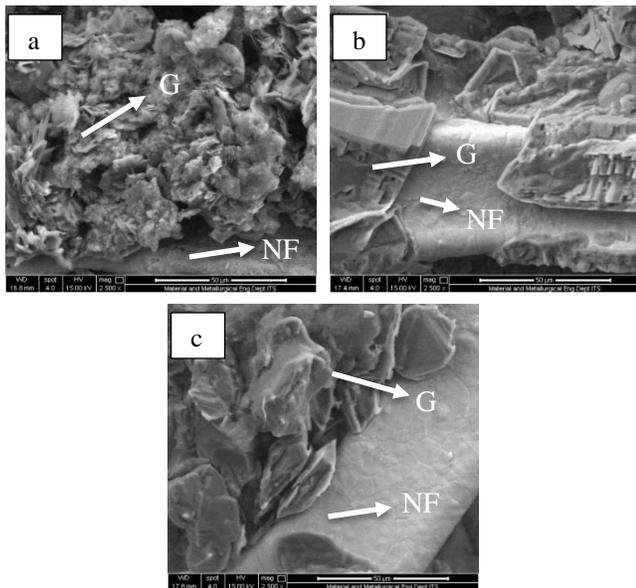
Pengamatan morfologi *graphene*, nickel foam, serta graphene yang didepositkan pada nickel foam dilakukan dengan pengujian SEM. Instrumen SEM yang digunakan adalah Inspect S50.



Gambar 3. Morfologi (a) grafit, (b) grafit oksida, (c) rGO dengan perbesaran 5000 kali



Gambar 4. Morfologi *graphene* perbesaran 10000x dengan variasi waktu hidrotermal a) 12 jam b) 18 jam c) 24 jam



Gambar 5. Morfologi nickel foam dengan *graphene* waktu hidrotermal a) 12 jam b) 18 jam c) 24 jam

Perubahan morfologi dari grafit menjadi *graphene* ditunjukkan pada gambar 3. Grafit (3.a) merupakan tumpukan dari lembaran-lembaran tipis *graphene* sehingga grafit berbentuk flake yang tebal. Sedangkan grafit oksida (3.b) merupakan tumpukan dari lembaran-lembaran *graphene* oksida sehingga morfologi grafit oksida juga tebal namun sudah berbentuk lembaran. Sedangkan *graphene* (3.c) merupakan selapis lembaran tipis transparan dari grafit.

Gambar 4 menunjukkan morfologi *graphene* hasil reduksi dengan variasi waktu tahan proses hidrotermal selama 12, 18, dan 24 jam. Pada waktu tahan proses hidrotermal selama 12 (4.a) jam lembaran *graphene* mempunyai ketebalan yang hampir sama pada semua sisinya. Untuk waktu tahan proses hidrotermal 18 jam (4.b) ketebalan *graphene* tidak rata, ada yang sama tebalnya dengan *graphene* dengan waktu

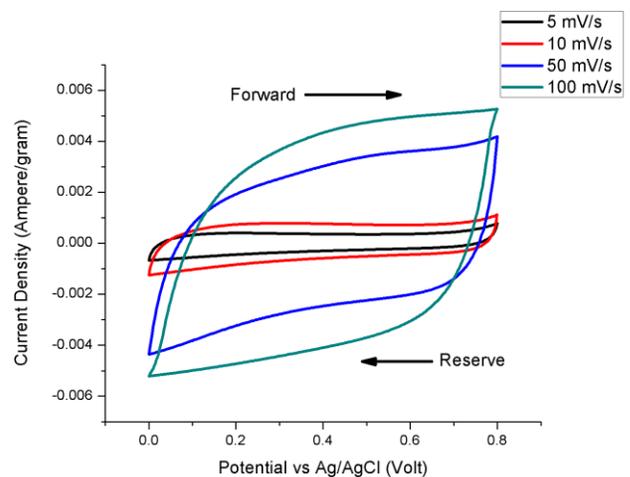
hidrotermal 12 jam dan ada juga yang lebih tipis dari ketebalan *graphene* dengan waktu hidrotermal 12 jam. Sedangkan untuk *graphene* dengan waktu tahan proses hidrotermal 24 jam (4.c) memiliki ketebalan yang lebih besar dibanding dengan *graphene* yang memiliki waktu tahan proses hidrotermal 12 dan 18 jam.

Susunan dan posisi *graphene* [G] yang terdeposisi dalam *nickel foam* [NF] ditunjukkan pada gambar 5. Pada sampel elektroda *graphene* dengan waktu hidrotermal 12 jam (5.a) terlihat *graphene* menggumpal menutupi poros dari *nickel foam*. Pada sampel elektroda *graphene* dengan waktu hidrotermal 18 jam (5.b) terlihat *graphene* melapisi sisi-sisi struktur *sponge* dari *nickel foam* dan tidak menutup poros dari *nickel foam*. Sedangkan pada sampel elektroda *graphene* dengan waktu hidrotermal 24 jam (5.c) terlihat bahwa *graphene* menggumpal dan menutupi poros dari *nickel foam*

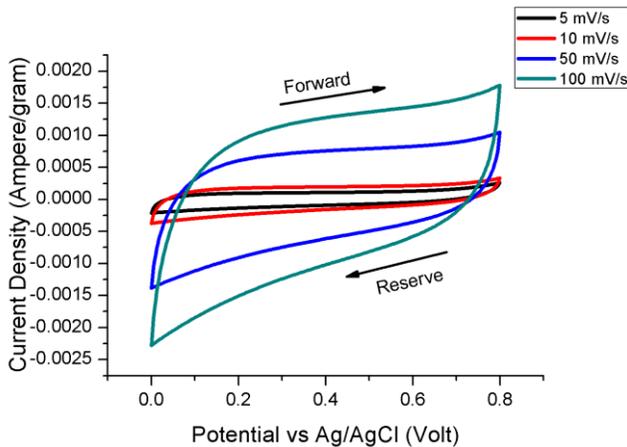
C. Pengujian CV (Cyclic Voltammetry)

Pengujian Cyclic Voltammetry digunakan untuk mengetahui nilai kapasitansi dari elektroda superkapasitor dari material *graphene*. Pengujian yang dilakukan dengan mendepositkan *graphene* ke dalam Nickel Foam yang bertindak sebagai *current collector*. Material yang di uji CV adalah *graphene*, dengan menggunakan *set up* 3 elektroda, di dalam larutan elektrolit Na_2SO_4 1 M.

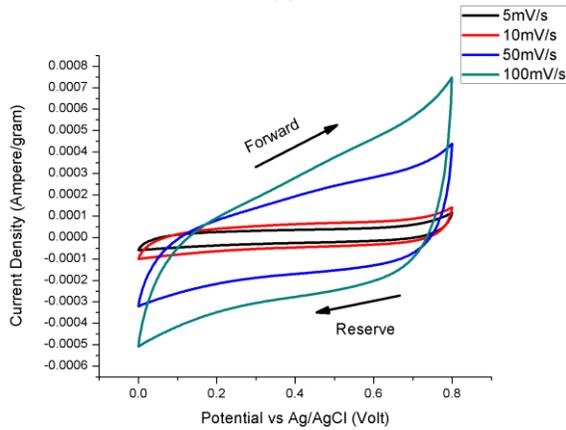
Larutan elektrolit Na_2SO_4 1 M digunakan karena tidak ada efek *pseudocapacitance* yang terjadi, dan cenderung lebih stabil. Pengujian CV dilakukan dengan rentang *potential window* dari 0 sampai 0.8 Volt, karena pada rentang potensial positif, *graphene* tidak menunjukkan efek *pseudocapacitance*, namun cenderung berbentuk persegi panjang EDLC dan resistif. sesuai dengan karakteristik dari EDLC. [5]



(a)



(b)

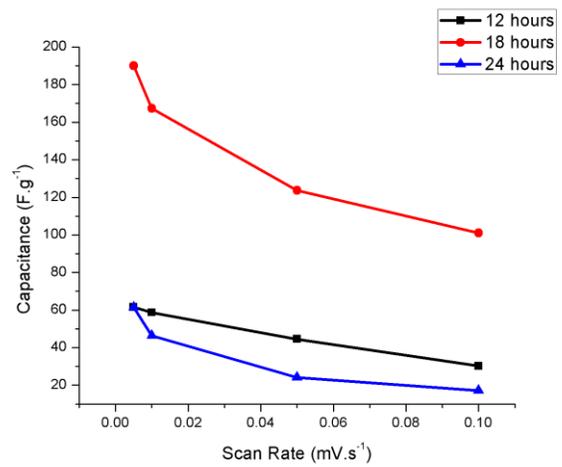


(c)

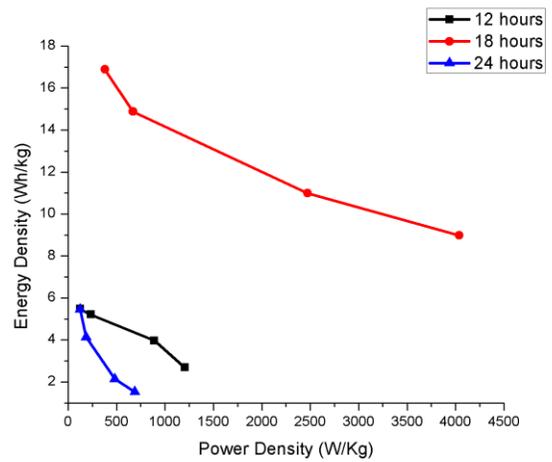
Gambar 6. Kurva CV elektroda superkapasitor material graphene waktu hidrotermal (a) 12 jam (b) 18 jam (c) 24 jam

Kurva dari hasil pengujian CV sampel elektroda *graphene* dengan waktu hidrotermal 12 jam (6.a) memiliki bentuk kurva persegi panjang (pseudocapacitance). Bentuk ini sesuai dengan bentuk kurva untuk superkapasitor EDLC (electric double layer capacitor) ideal.

Sampel elektroda *graphene* dengan waktu hidrotermal 18 jam (4.b) juga memiliki bentuk kurva persegi panjang pada semua variasi *scan rate* yang digunakan pada saat pengujian CV. Sedangkan sampel elektroda *graphene* dengan waktu hidrotermal 24 jam (6.c) memiliki bentuk kurva persegi panjang pada *scan rate* 5 dan 10 mV/s. Akan tetapi pada saat *scan rate* 50 dan 100 mV/s kurva hasil pengujian yang dihasilkan tidak persegi panjang. Sehingga pada *scan rate* 50 dan 100 mV/s merupakan bentuk superkapasitor resistif. Hal ini disebabkan karena pada saat tegangan diberikan ion-ion elektrolit tidak tertarik seluruhnya menuju permukaan elektroda *graphene*.



(a)



(b)

Gambar 7. Hubungan antara (a) scan rate dengan kapasitansi (b) spesifik energi dengan spesifik power

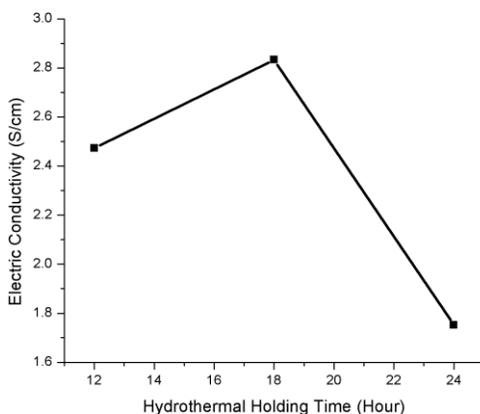
Pengaruh *scan rate* terhadap kapasitansi (7.a) adalah berbanding terbalik yaitu kapasitansi akan turun seiring dengan peningkatan *scan rate*. Hal ini disebabkan karena ketika *scan rate* yang diberikan kecil maka aliran tegangan dapat masuk sampai ke dalam elektroda material *graphene* sedangkan ketika *scan rate* yang diberikan tinggi maka aliran tegangan hanya melewati bagian permukaan dari elektroda material *graphene* saja.

Plot Ragone (hubungan spesifik energi dengan spesifik power) pada ketiga sampel elektroda *graphene* yang telah dibuat (7.b). Spesifik power yang diperoleh 123,1 W/Kg pada sampel elektroda *graphene* dengan waktu tahan hidrotemal 12 jam memiliki spesifik energi mencapai 5,47 Wh/Kg. Ketika spesifik power meningkat sampai 1206,2 W/kg, spesifik energinya sama dengan 2,68 Wh/Kg. Sampel elektroda *graphene* dengan waktu tahan hidrotermal 18 jam, pada spesifik power 379,9 W/Kg, spesifik energinya sama dengan 16,89 Wh/Kg. Ketika spesifik powernya meningkat sampai 4038,8 W/Kg, spesifik energinya turun sampai 8,98 Wh/Kg. Sampel elektroda *graphene* dengan waktu tahan hidrotermal 24 jam, pada spesifik power 122,9 W/Kg, spesifik energinya

sama dengan 5,46 Wh/Kg. Ketika spesifik powernya meningkat sampai 688,1 W/Kg, spesifik energinya turun sampai 1,53 Wh/Kg. Dari ketiga sampel elektroda graphene dengan waktu tahan hidrotermal masing-masing 12, 18, dan 24 semuanya menunjukkan bahwa elektroda superkapasitor material graphene yang telah dibuat memiliki performa yang sama dengan superkapasitor pada umumnya sesuai dengan plot Ragone.

D. Pengujian FPP (Four Point Probe)

Four point probe (FPP) test adalah salah satu bentuk pengujian elektrik. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur resistivitas dari material semikonduktor. Sehingga dari pengujian FPP ini akan didapatkan konduktifitas listrik yang nantinya akan dihubungkan dengan sifat kapasitansi superkapasitor material graphene yang telah diuji CV



Gambar 8. Nilai konduktifitas graphene dengan variasi waktu hidrotermal 12, 18, dan 24 jam

Graphene dengan waktu hidrotermal 18 jam (8) memiliki nilai konduktifitas (2,833 S/cm) yang baik dibandingkan dengan graphene dilihat pada gambar 4.4 yang menyebabkan aliran listrik dapat dihantarkan lebih cepat akibat dari kecilnya pita konduksi yang dilihat dari jumlah layer graphene. Untuk graphene dengan waktu hidrotermal 24 jam memiliki konduktifitas yang rendah hal ini disebabkan karena ketebalan *graphene* yang terbentuk sangat besar sehingga listrik yang dihantarkan kurang bisa berjalan dengan cepat akibat pita konduksi yang tebal.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Sampel elektroda graphene dengan waktu tahan hidrotermal 18 jam memiliki nilai kapasitansi yang paling baik dengan nilai kapasitansi 190,01 F/g. Hal ini didukung dengan hasil SEM yang menunjukkan bahwa sampel morfologi graphene pada elektroda graphene dengan waktu hidrotermal 18 jam memiliki lebih banyak single layer graphene. Dan didukung juga dengan nilai konduktifitas listrik sebesar 2,833 (S/cm) lebih besar dari sampel elektroda 12 dan 24 jam yaitu 2,473 dan 1,751 (S/cm).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis A.A.A. mengucapkan terima kasih atas dukungan keuangan dan fasilitas dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia melalui Hibah Penelitian Unggulan 2014 (dana BOPTN) dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) - Surabaya, Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Basu, S. dan P. Bhattacharyya (2012) et al. "Recent developments on graphene and graphene oxide based solid state gas sensors". Sensors and Actuators B 173, 1-21.
- [2] Miller, JR, Simon, P. (2008), "Electrochemical capacitors for energy management". Science 321. (5889), 651-652.
- [3] Daniel R. Dreyer. (2009). et al. "The Chemistry of Graphene Oxide". Chemical Society Review. 39: 228-240.
- [4] Geng Zhi-gang. (2012). 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 Vol 25 No.4:494-500.
- [5] Nurdiansyah, H. dan Diah Susanti (2014). Pengaruh Variasi Temperatur Hidrotermal dan Waktu Ultrasonikasi Terhadap Nilai Kapasitansi Elektroda Electric Double Layer Capacitor (EDLC) dari material grafena. Thesis S2 Teknik Material dan Metalurgi ITS