

# EFEK VARIASI WAKTU *BALL MILLING* TERHADAP KARAKTERISTIK ELEKTROKIMIA SEL SUPERKAPASITOR BERBASIS KARBON

Fitria Puspita Sari\*, Erman Taer, Sugianto

Mahasiswa Program S1 Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Pekanbaru, 28293, Indonesia  
\*zahra.azraa@gmail.com

## ABSTRACT

Supercapacitor electrodes from rubber wood saw dust (RWSD) have been fabricated using experiment method to study the ball milling variation time on performance of the supercapacitor cells. The carbon electrodes were prepared with time variation of 20, 40, and 80 hours and thickness of 0.2 mm. Carbon electrodes were carbonized at 600°C and followed by physical activation method in CO<sub>2</sub> gas atmosphere on the constant temperature of 900°C, and chemical activation was performed by KOH as an activating agent. Densities of the electrodes were 0.849 g/cm<sup>3</sup>, 0.892 g/cm<sup>3</sup>, 0.982 g/cm<sup>3</sup> respectively. XRD measurement showed the peaks of carbon electrodes at 2θ of 24.091° and 44.473° which represented the presence of carbon materials with their crystal orientation of (002) and (100). SEM micrograph on magnification of 1000X showed that the pore distribution of the carbon electrodes dominant on macropores. This study found that the effects of increasing of ball milling time influenced the electrochemical properties of supercapacitor electrodes from RWSD. The optimum supercapacitor performance was found on 20 hour milling time electrode and had a specific capacitance of 55.414 F/g.

Keywords : time variation effect, ball milling, supercapacitor

## ABSTRAK

Elektroda sel superkapasitor dari bahan serbuk gergaji kayu karet (SGKK) telah difabrikasi menggunakan metode eksperimen langsung untuk mengetahui efek variasi waktu *ball milling* pada prestasi sel superkapasitor. Elektroda karbon dibuat dengan variasi waktu *ball milling* 20, 40, dan 80 jam dan ketebalan elektroda 0,2 mm. Elektroda karbon dibuat pada temperatur karbonisasi 600°C diikuti dengan aktivasi fisika menggunakan gas CO<sub>2</sub> dengan temperatur konstan 900°C, dan aktivasi kimia menggunakan KOH sebagai *activating agent*. Nilai densitas elektroda karbon untuk

masing-masing variasi 20, 40, dan 80 jam adalah 0,849 g/cm<sup>3</sup>, 0,892 g/cm<sup>3</sup>, 0,982 g/cm<sup>3</sup>. Pengujian XRD menunjukkan puncak karbon pada sudut 2 $\theta$ , yaitu 24,091° - 44,473° yang menggambarkan senyawa karbon dengan orientasi kristal (002) dan (100). Hasil uji SEM pada perbesaran 1000X menunjukkan bahwa distribusi pori elektroda karbon didominasi pori makro. Penelitian ini membuktikan bahwa peningkatan waktu *ball milling* berpengaruh terhadap karakteristik elektrokimia karbon SGKK. Elektroda terbaik memiliki waktu *ball milling* 20 jam dengan nilai kapasitansi spesifik sel sebesar 55,414 F/g.

Kata kunci : efek variasi waktu, *ball milling*, superkapasitor

## PENDAHULUAN

Superkapasitor merupakan kapasitor elektrokimia yang mempunyai densitas energi tinggi dibandingkan dengan kapasitor konvensional. Kunggulan superkapasitor diantaranya adalah waktu hidup lebih lama, prinsip dan model sederhana, kapasitas penyimpanan energi lebih besar, rapat daya tinggi, dan waktu *re-charge* pendek serta aman dalam penggunaannya (Kötz & Bärtzsch, 2002).

Kemampuan penyimpanan energi pada superkapasitor dipengaruhi oleh struktur pori yang berhubungan dengan proses difusi ion ke dalam pori elektroda dimana proses ini merupakan faktor penting yang mempengaruhi *charge-discharge* energi listrik (Choi dkk., 2012). Usaha yang dapat dilakukan untuk memperoleh struktur pori yang ideal adalah dengan cara mekanik (*ball milling*, karbonisasi, aktivasi fisika) dan kimia (aktivasi kimia menggunakan aktivator).

*Ball milling* merupakan suatu proses penghancuran serbuk karbon dengan menggunakan mekanisme tumbukan antara sampel dengan bola-bola baja berukuran heterogen. Proses ini diasumsikan dapat memperkecil

ukuran pori karena ketika serbuk karbon dicetak maka struktur pori akan lebih mengikuti morfologi partikel karbon yang dihasilkan dari proses *ball milling* tersebut.

Menurut Choi (2012), *ball milling* telah terbukti dapat meningkatkan kapasitansi spesifik superkapasitor. Elektroda yang dibuat dengan *ball milling* memiliki kapasitansi spesifik lebih tinggi dari elektroda karbon asli tanpa *ball milling*. Efek mengenai lama waktu *ball milling* terhadap karakteristik elektrokimia sel superkapasitor akan dipelajari dalam penelitian ini.

Pori karbon aktif serbuk gergaji kayu karet (SGKK) dibentuk menggunakan aktivasi kimia dengan KOH sebagai *activating agent* dan aktivasi fisika 900 °C. Efek *ball milling* terhadap morfologi permukaan dan bentuk pori elektroda dikarakterisasi menggunakan SEM dan XRD sementara sifat elektrokimia dikarakterisasi menggunakan metode *Cyclic Voltammogram* (CV).

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen.

### A. Persiapan Serbuk Gergaji Kayu Karet

*Ball milling* tahap awal dilakukan selama  $\pm 20$  jam (untuk satu botol sampel) dengan rentang waktu 4 (empat) jam sekali *ball milling* dan waktu istirahat sekali 1 (satu) jam. Jumlah bola-bola *ball milling* yang digunakan adalah 20 butir untuk satu botol sampel. Setelah itu dilakukan pengayakan untuk mendapatkan serbuk dengan ukuran  $\leq 53$   $\mu\text{m}$  dan ukuran  $\leq 38$   $\mu\text{m}$ .

Serbuk berukuran  $\leq 38$   $\mu\text{m}$  digiling kembali sesuai dengan variasi waktu yang telah ditetapkan, yaitu 40 jam dan 80 jam dengan tujuan untuk mendapatkan sampel dengan ukuran nm (nanometer). Sebelum digiling, sampel dibagi menjadi 3 (tiga) botol dengan massa masing-masing sampel 60 g dan jumlah bola-bola alat *ball milling* di setiap botolnya 26 butir. Prosedur pada tahap ini sama dengan prosedur pada *ball milling* tahap awal, yaitu *ball milling* sampel dengan selang waktu 4 (empat) jam dengan waktu istirahat sekali 1 (satu) jam untuk masing-masing variasi waktu tersebut.

### B. Aktivasi Kimia

Variasi sampel SGKK dimasukkan ke dalam gelas beker yang berisi 100 ml larutan 0,4 M KOH (2,244 g) dengan massa sampel untuk masing-masing variasi adalah 20 g. Sampel dipanaskan menggunakan *Magnetic*

*Stirrer Hot Plate* selama 2 (dua) jam dengan suhu dipertahankan konstan 80°C dan kecepatan *stirrer* 200 rpm (Nurdiansah, 2013). Setelah selesai, dinginkan sampel hingga suhu kamar kemudian dikeringkan di dalam oven dengan suhu 100 °C – 110 °C. Apabila sampel berbentuk gumpalan setelah mekanisme tersebut, hancurkan sampel dengan menggunakan mortar sehingga sampel berbentuk serbuk kembali.

### C. Persiapan Elektroda Karbon

#### 1. Pencetakan Pelet Karbon

Sebelum dicetak menjadi pelet, sampel ditimbang terlebih dahulu dengan massa  $\pm 0,65$  g. Pencetakan dilakukan dengan menggunakan alat *Hydraulic Jack* dengan pemberian tekanan  $\pm 6$  ton. Tekanan 6 ton merupakan tekanan ideal yang dapat memampatkan serbuk di dalam cetakan sehingga pelet yang dihasilkan padat, kuat, dan tidak mudah pecah. Pelet yang dihasilkan pada proses ini berbentuk kepingan lingkaran.

#### 2. Karbonisasi dan Aktivasi Fisika

Karbonisasi dilakukan pada temperatur 600 °C dengan selang waktu 8-9 jam. Aktivasi fisika dilakukan dengan menempatkan pelet yang telah dikarbonisasi ke dalam *furnace*. Aktivasi ini dilakukan dengan menggunakan gas CO<sub>2</sub> dengan temperatur 900 °C selama 2 jam yang bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan, memperbesar diameter pori, dan meningkatkan konduktivitas pelet karbon yang dihasilkan (Guo & Lua, 2003).

### 3. Persiapan Akhir

Pelet karbon yang telah dingin dipoles menggunakan kertas Pasir P1500 sehingga mencapai ketebalan 0,2 mm kemudian dicuci dengan air aquades sampai mencapai PH netral dan selanjutnya dikeringkan di dalam oven  $\pm$  24 jam dengan suhu 110 °C.

### D. Pembuatan Sel Superkapasitor

Separator yang digunakan untuk pembuatan sel superkapasitor adalah membran kulit telur itik yang dibuat dengan merendam kulit telur itik di dalam larutan 1 M HCL sehingga didapatkan membran halus yang terlepas dari kulitnya. Membran ini kemudian dicuci berulang-ulang sehingga mencapai PH netral untuk kemudian di potong-potong sesuai diameter badan sel superkapasitor.

Sel superkapasitor dibuat dengan urutan, yaitu teflon, pengumpul arus (*Stainless Stell*), separator (membran kulit telur itik), elektroda (pelet karbon SGKK), dan elektrolit ( $H_2SO_4$ ) dengan kode yang berbeda untuk masing-masing variasi. Kode FB untuk *ball milling* 20 jam dengan ukuran pengayakan  $\leq$  53  $\mu$ m, kode FC untuk *ball milling* 40 jam, dan kode FD untuk *ball milling* 80 jam.

### E. Karakterisasi Sifat Fisis Elektroda

#### 1. Densitas

Pengukuran densitas dapat dilakukan dengan mengukur jari-jari, tinggi, dan tebal elektroda karbon menggunakan jangka sorong serta mengukur massa elektroda dengan

timbangan elektronik. Besarnya densitas dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

dimana

$\rho$  = massa jenis elektroda ( $g/cm^3$ )

m = massa elektroda (g)

V = volume elektroda ( $cm^3$ )

### 2. Difraksi Sinar-X (XRD)

Difraksi sinar-X digunakan untuk mengetahui besar sudut hamburan  $2\theta$  menggunakan alat Difraktometer sinar-X Siemens D5000 dengan sumber sinar Cu  $k-\alpha$  dan panjang gelombang 1,5418 Å. Sudut difraksi yang digunakan adalah sudut  $2\theta$  yaitu pada rentang sudut 0 – 60°. Parameter kisi meliputi jarak antar lapisan kisi ( $d_{hkl}$ ) dihitung menggunakan Persamaan Bragg :

$$d_{hkl} = \frac{n\lambda}{2\sin\theta}$$

dimana

$d_{hkl}$  = jarak antar lapisan kisi (nm)

n = panjang gelombang sinar-X (nm)

$\theta$  =  $\frac{1}{2}$  dari sudut hamburan  $2\theta$

Tinggi lapisan kisi ( $L_a$ ), dan lebar lapisan kisi ( $L_c$ ) dihitung menggunakan Persamaan Debye-Scherrer sebagai berikut:

$$L_c = 0,90 \lambda / \beta \cos \theta_{002}$$

$$L_a = 1,94 \lambda / \beta \cos \theta_{100}$$

dimana

$\beta$  = lebar lapisan kisi pada setengah tinggi kurva

### 3. Scanning Elektron Microscopy

Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan pada patahan elektroda. Pengujian *Scanning Elektron Microscopy* (SEM) dilakukan menggunakan alat SUPRA 55VP dengan perbesaran 1000X.

#### F. Karakterisasi Sifat Elektrokimia

Karakterisasi sifat elektrokimia bertujuan untuk mengetahui sifat kapasitif sel superkapasitor. Pada penelitian ini, karakterisasi elektrokimia dilakukan menggunakan alat *Solartron Interface* 1286. Metode yang digunakan adalah *Cyclic Voltammogram* (CV) dengan sistem tiga elektroda, yaitu elektroda kerja, elektroda referensi, dan elektroda *counter*. Arus *charge* dan *discharge* diukur dari potensial antara 0 sampai 1 V terhadap elektroda referensi dengan variasi laju *scan*, yaitu 1, 5, 10, 30, 50, dan 100 mV/s.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Karakterisasi Sifat Fisis Elektroda

#### 1. Densitas

Elektroda karbon dengan ketebalan yang sama yaitu 0,02 cm

memiliki densitas yang berbeda untuk masing-masing variasi waktu *ball milling*. Elektroda FB memiliki densitas sebesar 0,849 g/cm<sup>3</sup>, FC sebesar 0,892 g/cm<sup>3</sup>, dan FD sebesar 0,982 g/cm<sup>3</sup>. Berdasarkan data tersebut, densitas tertinggi dimiliki oleh elektroda FD (*ball milling* 80 jam) dan densitas terendah dimiliki oleh elektroda FB (*ball milling* 20 jam). Massa, diameter, tebal, dan besar densitas masing-masing elektroda dapat dilihat pada Tabel 1.

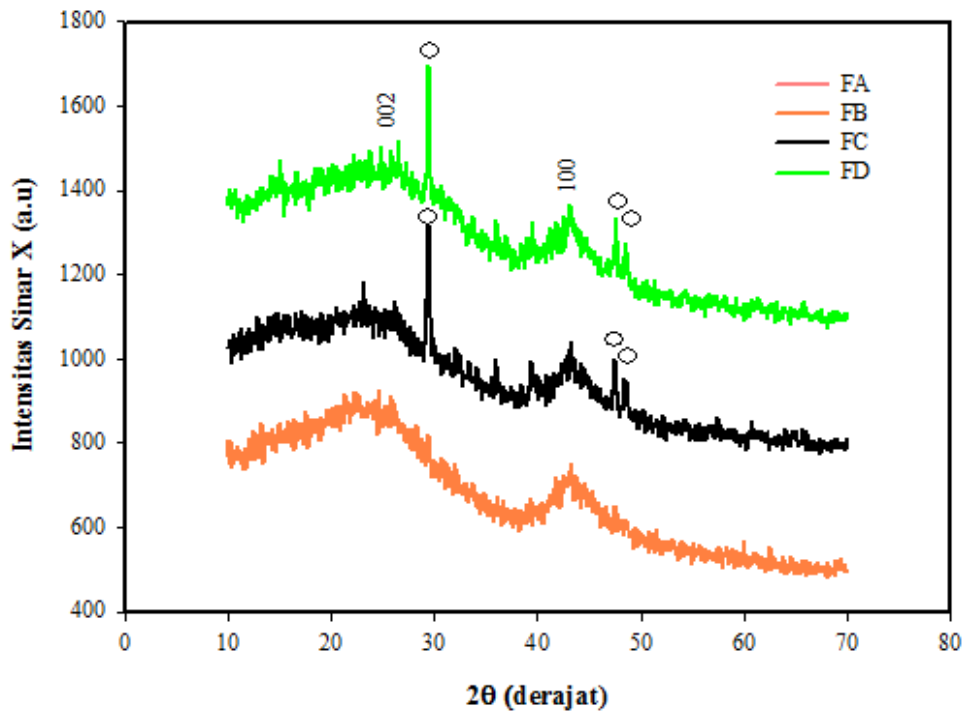
Lama waktu *ball milling* memberikan efek kenaikan densitas elektroda karbon. Semakin lama *ball milling* menyebabkan besar densitas semakin meningkat. Keadaan ini disebabkan oleh ukuran serbuk yang terbentuk setelah proses *ball milling*. Elektroda dengan waktu *ball milling* yang lama memiliki tekstur SGKK yang lebih halus dibandingkan elektroda dengan waktu *ball milling* yang lebih sedikit. Tekstur SGKK yang lebih halus akan menghasilkan elektroda yang lebih padat. Kepadatan elektroda berbanding lurus dengan massa dan densitas. Semakin besar massa elektroda maka densitasnya akan semakin besar pula.

#### 2. Difraksi Sinar-X (XRD)

Pengukuran Difraksi Sinar-X (XRD) menghasilkan kurva hubungan antara

Tabel 1. Hasil Perhitungan Densitas Elektroda

Kode Elektroda	Massa (g)	Tebal (cm)	Diameter (cm)	Jari-jari (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
FB	0,031	0,020	1,518	0,759	0,037	0,849
FC	0,031	0,020	1,488	0,745	0,035	0,892
FD	0,035	0,020	1,496	0,748	0,035	0,982



Gambar 1. Hasil pengujian XRD karbon aktif serbuk gergaji kayu karet (SGKK)

intensitas dan sudut  $2\theta$  yang dapat dilihat pada Gambar 1. Pola difraksi pada kurva memperlihatkan terjadinya pergeseran puncak  $2\theta$  untuk masing-masing elektroda. Puncak difraksi pada gambar tersebut menunjukkan bahwa elektroda yang diuji bersifat amorf dengan rentang sudut karbon  $24,079^\circ - 44,473^\circ$  ditandai dengan bentuk kurva yang lebar dan landai. Sudut-sudut tersebut menggambarkan posisi puncak yang sesuai dengan bidang (002) dan (001) pada struktur karbon (Taer dkk., 2011).

Adapun puncak tajam yang ditandai dengan simbol lingkaran pada sudut  $29,44^\circ$ ,  $47,44^\circ$ , dan  $48,52^\circ$  diindikasikan dimiliki oleh Silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang terdapat pada bahan biomassa (Taer dkk., 2011). Struktur amorf ini juga didukung oleh data yang terdapat pada Tabel 2.

Jarak antar lapisan kisi ( $d_{hkl}$ ) terkecil terdapat pada elektroda FD dengan nilai  $d(002)$  sebesar 0,355 nm dan  $d(100)$  sebesar 0,203 nm sementara nilai  $L_a$  dan  $L_c$  terkecil juga dimiliki

Tabel 2. Parameter Kisi Elektroda Karbon SGKK

Kode Elektroda	$2\theta$ (002)	$2\theta$ (100)	$d(002)$ (nm)	$d(100)$ (nm)	$L_a$ (nm)	$L_c$ (nm)
FB (20)	24,091	44,056	0,369	0,205	2,498	0,595
FC (40)	24,183	44,214	0,368	0,204	2,278	0,593
FD (80)	25,037	44,473	0,355	0,203	1,544	0,570

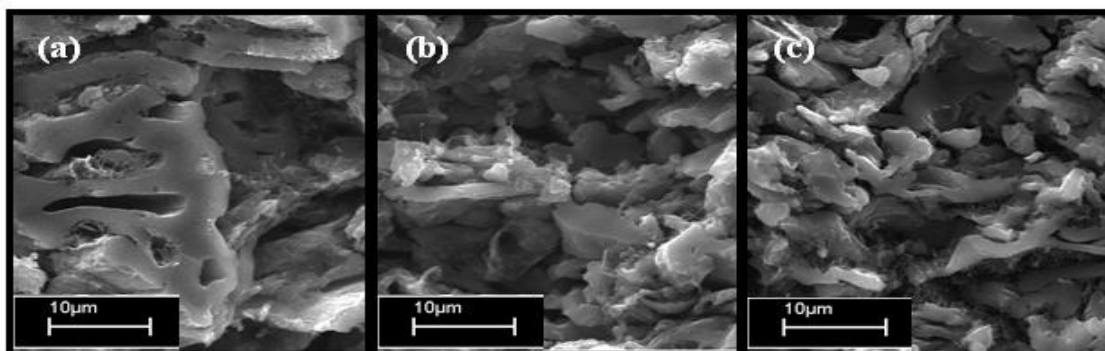


oleh elektroda FD yaitu berturut-turut sebesar 1,544 nm dan 0,570 nm.

Parameter ini mendukung penjelasan mengenai efek *ball milling* terhadap karakter fisis elektroda dimana waktu *ball milling* yang lama menghasilkan kisi-kisi karbon yang semakin kecil ditandai oleh  $d_{hkl}$ ,  $L_a$ , dan  $L_c$  yang semakin menurun.

### 3. Scanning Electron Microscopy

Morfologi elektroda karbon pada bagian patahan dapat dilihat pada Gambar 2 dimana gambar ini memperlihatkan hasil pengujian berupa SEM *micrograph* untuk keempat variasi elektroda.



Gambar 2. SEM *micrograph* pada patahan sampel dengan perbesaran 1000X (a) Elektroda FB (20 jam), (b) FC (40jam), (c) FD (80 jam)

SEM *micrograph* pada gambar di atas menunjukkan bahwa di dalam elektroda karbon terdapat struktur pori yang heterogen dengan dominasi pori makro. Gambar 2c dan 2d memperlihatkan bahwa pori elektroda sampel FC dan FD tidak terlalu banyak. Dapat dikatakan pori-pori elektroda tertutup dan distribusinya tidak merata. Berbeda dengan elektroda FA dan FB yang memiliki struktur pori lumayan bagus dan terbuka. Bentuk pori tersebut

sangat mempengaruhi difusi ion ke dalam elektroda yang pada akhirnya menentukan besarnya kemampuan penyimpanan energi.

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan *software SmartTiff V2* dapat dilihat bahwa pori FD justru memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan pori elektroda lainnya begitu pula dengan pori FC. Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa akses ion pada elektroda FD cenderung sulit karena kecilnya pori permukaan elektroda. Pori makro berfungsi sebagai *transport pore* menuju pori meso dan mikro. Jika pori permukaan yang terdapat pada elektroda sangat kecil bisa mengakibatkan

transportasi menuju pori meso dan mikro terhambat. Inilah yang menjadi alasan mengapa elektroda FB cenderung memiliki kapasitas yang lebih besar dibandingkan elektroda lainnya.

Diameter pori rata-rata pada patahan elektroda ketiga elektroda, yaitu 2,901  $\mu\text{m}$  untuk FB, 1,930  $\mu\text{m}$  untuk FC, dan 1,784  $\mu\text{m}$  untuk FD. Data tersebut menunjukkan distribusi pori yang terbentuk akibat variasi waktu *ball milling* dimana semakin lama waktu *ball*

*milling* mengakibatkan semakin kecilnya diameter pori rata-rata elektroda. Diameter pori dipengaruhi oleh struktur butiran serbuk SGKK yang terbentuk selama proses *ball milling*. Semakin lama *ball milling* dilakukan menyebabkan ukuran butiran serbuk semakin kecil sehingga menyebabkan pori yang terbentuk juga kecil mengikuti morfologi serbuk ketika menjadi padatan.

## 2. Karakterisasi Sifat Elektrokimia

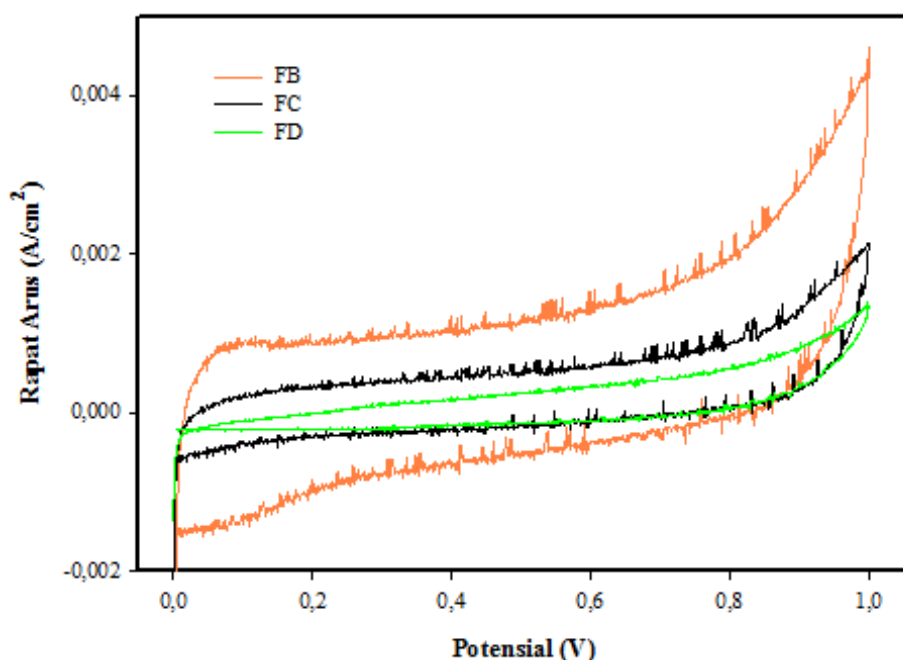
Kurva pengukuran *Cyclic Voltammogram* (CV) menunjukkan pola *charge-discharge* arus di dalam elektroda superkapasitor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

memberikan efek pengurangan potensi *charge* dan *discharge* elektroda. Distribusi sebaran data pada sel FD sangat sedikit yang ditunjukkan dengan bentuk kurva segiempat yang tidak begitu bagus. Berbeda dengan kedua sel lainnya.

Bentuk segiempat pada kurva menggambarkan besarnya kapasitansi spesifik sel superkapasitor. Semakin lebar kurva yang terbentuk menggambarkan kapasitansi spesifik yang semakin besar pula. Kurva yang paling lebar dimiliki oleh sel FB dan yang terkecil dimiliki oleh sel FD.

Besarnya nilai kapasitansi dipengaruhi oleh lamanya arus *charge-discharge*. Arus ini sangat dipengaruhi oleh distribusi dan ukuran pori elektroda.

Jika



Gambar 3. Kurva *Cyclic Voltammogram* (CV) sel superkapasitor berdasarkan variasi waktu *ball milling*; (FB (20 jam), FC (40jam), FD (80 jam))

Dari gambar dapat dilihat bahwa semakin lama waktu *ball milling*

elektroda memiliki pori yang dangkal dan sedikit maka arus *charge-discharge*



nya akan kecil. Sebaliknya jika elektroda memiliki pori yang dalam maka arus *charge* dan *discharge*-nya akan semakin besar. Keadaan ini juga berpengaruh terhadap energi dan daya superkapasitor.

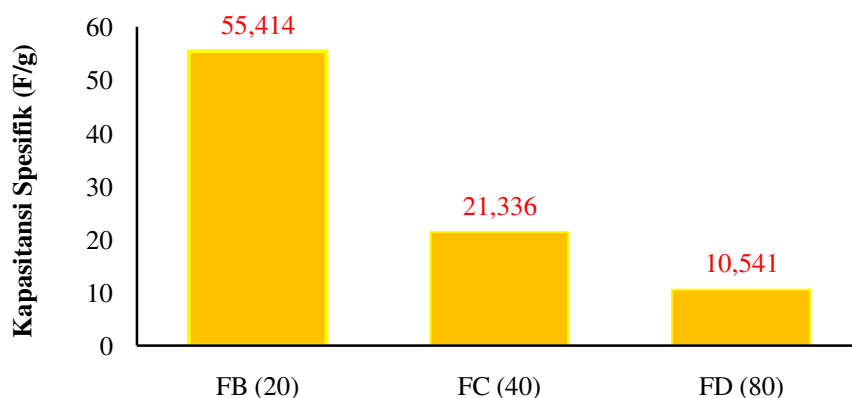
Arus *charge-discharge* untuk menghitung besar kapasitansi spesifik sel superkapasitor diambil pada bagian tengah kurva yaitu pada potensial 0,5 V. Besar arus ini menentukan besarnya kapasitansi spesifik dari masing-masing sel. Arus *charge-discharge* terbesar terdapat pada sel FB dan arus *charge-discharge* terkecil terdapat pada sel FD.

Gambar 4 memperlihatkan bahwa kapasitansi spesifik terbesar terdapat pada sel FB dan yang terendah pada sel FD. Sel FB merupakan sel superkapasitor dengan waktu *ball milling* 20 jam sementara sel FD 80 jam. Berdasarkan data di atas dapat dilihat bahwa semakin lama waktu *ball milling*

mengakibatkan semakin turunnya kapasitansi spesifik.

Berdasarkan data tersebut dapat dikatakan bahwa penyebab kecilnya arus *charge* dan *discharge* sel FD benar-benar dipengaruhi oleh distribusi pori pada elektroda karena pada saat proses pengambilan data, ketiga sel ini mendapat perlakuan yang sama dengan badan sel superkapasitor yang juga sama. Jadi, satu-satunya hal yang dapat menjelaskan peristiwa ini adalah distribusi dan ukuran pori.

*Ball milling* merupakan suatu proses untuk mendapatkan ukuran serbuk yang halus. Semakin lama waktu *ball milling* akan menyebabkan ukuran butiran serbuk yang semakin halus. Serbuk yang halus ketika dicetak akan menghasilkan pelet dengan struktur yang padat. Semakin padat susunan partikel



Gambar 4. Perbandingan nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor dengan variasi waktu *ball milling*

suatu material akan mengakibatkan semakin besarnya densitas yang menandakan semakin sedikitnya distribusi pori. Distribusi pori yang sedikit akan mempengaruhi kapasitansi

spesifik sel ketika dilakukan uji sifat elektrokimia.

Hasil kapasitansi spesifik pada penelitian ini cenderung kecil. Keadaan ini disebabkan oleh kondisi pori elektroda yang tidak mendukung. Selain

itu, ketebalan elektroda juga menjadi faktor penyebab turunnya kapasitansi spesifik. Semakin tipis ketebalan elektroda maka ion yang dapat berdifusi ke dalam pori semakin sedikit sehingga menyebabkan kapasitansi spesifik menurun (Jayanti, 2012).

## KESIMPULAN

*Ball milling* terbukti dapat menghasilkan elektroda dengan ukuran partikel karbon yang sangat kecil (berkisar nanometer) dan berpengaruh terhadap sistem pembentukan pori. Lama waktu *ball milling* mempengaruhi besarnya kapasitansi spesifik superkapasitor. Semakin lama waktu *ball milling* maka kapasitansi spesifik yang dihasilkan semakin kecil. Keadaan ini disebabkan oleh lemahnya struktur pori dan sedikitnya distribusi pori disebabkan oleh kepadatan struktur penyusun elektroda. Selain itu, menurunnya kapasitansi spesifik juga disebabkan oleh ketebalan elektroda yang sangat tipis yaitu 0,2 mm sehingga menyebabkan sedikitnya difusi ion ke dalam elektroda.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Riau atas bantuan biaya kuliah berupa beasiswa selama penulis menjalani masa studi dan kepada DP2M Dikti untuk proyek Penelitian Kerjasama dan Publikasi Internasional Tahun 2013-2014 atas pendanaan yang diberikan melalui Bapak Dr. Erman Taer, M.Si.

## DAFTAR PUSTAKA

- Choi, W.S., Shim, W. G., Ryu, D. W., Hwang, M. J., Hee Moon. 2012. *Effect of ball milling on electrochemical characteristics of walnut shell-based carbon electrodes for EDLCs*. Microporous and Mesoporous Materials 155 (2012) 274-280.
- Guo, J. and Lua, A. C. 2003. *Textural and chemical properties of adsorbent prepared from palm shell by phosphoric acid activation*. Materials Chemistry and Physics 80(1): 114-119.
- Jayanti, Susri. 2012. Pengaruh Variasi Jenis Elektrolit dan Ketebalan Elektroda pada Kemampuan Superkapasitor. Skripsi Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Riau : Pekanbaru.
- Kötz, R., Bärtzsch, M. 2002. *Hy.Power - A Fuel Cell Car Boosted with Supercapacitors*. The 12th International Seminar on Double Layer Capacitors and Similar Energy Storage Devices. Deerfield Beach, USA.
- Nurdiansah, Haniffudin dan Susanti, Diah. 2013. *Pengaruh Variasi Temperatur Karbonisasi dan Temperatur Aktivasi Fisika dari Elektroda Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Tempurung Kluwak Terhadap Nilai Kapasitansi Electric Double Layer Capacitor (EDLC)*. Jurnal Teknik POMITS, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi,

Fakultas Teknologi Industri,  
Institut Teknologi Sepuluh  
Nopember (ITS), Vol. 2, No. 1,  
ISSN: 2337-3539.

Taer, E., Deraman, M., Thalib, I. A.,  
Awitdrus, A., Hasmi, S. A.,  
Umar A., A.2011. *Preparation of  
a Highly Prous Binderless  
Activated Carbon Monolith from  
Rubber Wood Saw Dust by a  
Multi Step Activation Process for  
Application in Supercapacitors.*  
Int. Journal Electrochem. Sci;  
6:3301.