

KEBOLEHULANGAN (*REPRODUCIBILITY*) DALAM PEMBUATAN SEL SUPERKAPASITOR DARI KAYU KARET

Afdhal Rizki*, Erman Taer, Rika

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau
Kampus Bina Widya Pekanbaru, 28293, Indonesia
afdhal_rizki@yahoo.co.id

ABSTRACT

A research has been conducted on reproducibility measurement of specific capacitance of supercapacitor cell. The purpose of this study was to measure reproducibility capacitive properties of supercapacitor cell based on rubber wood electrode. Synthesis of supercapacitor cell was started by producing electrode with carbonization process in vacuum flowing N_2 gas at a temperature of $700^{\circ}C$ and through physical activation using CO_2 gas with a temperature of $900^{\circ}C$ for 2 hours. Specific capacitance of the cell was measured using cyclic voltammogram at scan rate of 1 mV/s – 100 mV/s for three different cells. The highest specific capacitance of 78.692 F/g with 3.274 % error percentage to be found at 1 mV/s of scan rate while the highest error percentage was observed at 16.785 % for 100 mV/s. Scanning Electron Microscope micrograph from the top and side view with magnification of 500 and 3000 X showed a pore in the form of a tunnel straight down on the samples. X-Ray Diffraction measurement showed the peaks of carbon electrode occurred at 2θ of 24.442° - 44.101° due to the presence of carbon with their crystal orientation of (002) and (100). The overall results showed the measurement of specific capacitance of supercapacitor cell was found to be accepted with low standard deviation ($< 5\%$) especially for measurement of 1 – 50 mV/s in scan rate.

Keywords: rubber wood, reproducibility, supercapacitors

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang reproduibilitas dalam pengukuran kapasitansi spesifik sel superkapasitor. Tujuan penelitian ini adalah pengujian kebolehulangan dari sifat kapasitif elektroda karbon aktif kayu karet sel superkapasitor. Pembuatan sel superkapasitor diawali dengan proses karbonisasi dalam aliran gas N_2 pada suhu $700^{\circ}C$ dan dilanjutkan dengan aktivasi fisika menggunakan gas CO_2 pada suhu $900^{\circ}C$ selama 2 jam. Nilai kapasitansi spesifik diukur menggunakan metode *cyclic voltammogram* pada laju *scan* yang berbeda dari 1 mV/s sampai 100 mV/s untuk tiga sel yang berbeda. Pengukuran dengan laju *scan* 1 mV/s mendapatkan nilai kapasitansi spesifik tertinggi sebesar 78,692 F/g dengan persentase kesalahan 3,274 % sedangkan persentase kesalahan tertinggi pada laju *scan* 100 mV/s adalah 16,785 % dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 55,163 F/g. Hasil uji *Scanning Electron Microscope* dari tampak atas

dan samping dengan perbesaran 500 dan 3000 kali menunjukkan adanya pori berupa terowongan lurus. Pengujian *X-Ray Diffraction* menunjukkan puncak difraksi terjadi pada 2θ pada sudut $24,442^\circ$ dan $44,101^\circ$ yang menggambarkan struktur amorf senyawa karbon dengan orientasi kristal (002) dan (001). Secara keseluruhan hasil pengukuran kapasitansi spesifik sel superkapasitor diterima dengan persentase kesalahan dibawah 5 % untuk pengukuran dari laju *scan* 1 - 50 mV/s.

Kata kunci: kayu karet, reproduibilitas, superkapasitor

PENDAHULUAN

Kerapatan energi dan daya sebuah superkapasitor ditentukan oleh jenis elektroda yang digunakan. Salah satu elektroda yang digunakan pada piranti superkapasitor adalah elektroda karbon. Sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang pembuatan elektroda karbon yang berasal dari serbuk gergaji kayu karet (Taer, 2011). Untuk pengembangan pembuatan elektroda karbon perlu dilakukan penelitian baru dengan berbagai macam variasi, campuran, dan bentuk elektroda sehingga dapat meningkatkan energi dan daya sel superkapasitor.

Pengembangan elektroda karbon sel superkapasitor diikuti dengan penyederhanaan proses pembuatan dan keseragaman sifat fisis dan elektrokimia. Pembuatan elektroda karbon dengan cara peletisasi dimulai dari proses prakarbonisasi, penggilingan, pencetakan, karbonisasi dan aktivasi banyaknya proses dalam pembuatan elektroda ini diperkirakan menghasilkan sampel pelet karbon yang tidak homogen dan nilai kapasitansi yang tidak sama. Dengan memperbaiki proses pembuatan elektroda karbon superkapasitor melalui kayu karet secara alamiah dapat menghasilkan keakuratan hasil pengukuran sel superkapasitor.

Pembuatan *reproducibility* elektroda sel superkapasitor ditentukan oleh faktor penyusunan elektroda saat

proses karbonisasi, aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Salah satu cara mendapatkan sel dengan nilai *reproducibility* tinggi adalah pemilihan bahan baku secara alamiah dengan cara pemotongan langsung misalnya dari ranting kayu karet. Kayu karet secara alami memiliki sifat fisis yang hampir sama untuk semua bagian dan memiliki sifat elektrokimia yang sama setelah dijadikan elektroda karbon. sehingga dapat menghindari beberapa proses yang dapat menyebabkan perbedaan hasil elektroda yang berasal dari kayu karet. Hal ini menjadi kajian utama oleh beberapa ahli dengan memilih elektroda secara langsung dari bahan yang bersifat alamiah adalah untuk aplikasi superkapasitor (Liu *et.al*, 2012).

Reproducibility dari elektroda adalah kemampuan elektroda dalam memberikan *output* yang sama ketika diberi *input* yang tetap setelah sistem di *reset* ulang. Setiap nilai pendekatan untuk satu kali pengulangan atau lebih menghasilkan *limit* antar pengukuran sekecil mungkin dengan tingkat kesamaan 95% (Caulcut. 1995). *Reproducibility* dinyatakan sebagai koefisien variasi yang menunjukkan tingkat kesalahan pengukuran akibat pengulangan. *Reproducibility* elektroda dalam mendeteksi sampel dikatakan baik apabila nilai tingkat kesalahannya kurang dari 5%.

Pada penelitian ini, pori elektroda sel superkapasitor dibentuk

menggunakan aktivasi kimia dengan KOH 3 M dan HNO₃ 25 %. Hasil morfologi dan bentuk pori dikarakterisasi dengan metode *Scanning Electron Microscope* dan Energi Dispersif sinar-X sedangkan sifat elektrokimia dikarakterisasi menggunakan *Cyclic Voltammogram*.

METODOLOGI PENELITIAN

Reproducibility dalam pembuatan sel superkapasitor menggunakan elektroda dari bahan biomassa kayu karet sebagai bahan dasar pembuatan sel superkapasitor. Dalam penelitian ini dilakukan kontrol pada densitas elektroda, suhu karbonisasi dan diuji menggunakan *Cyclic Voltametry* dengan variasi laju *scan* 1, 5, 10, 30, 50 dan 100 mV/s. Pada tahap awal pembuatan elektroda disediakan 26 elektroda, seleksi tahap awal menggunakan kontrol densitas sebanyak 10 elektroda. Berdasarkan susunan dalam proses pembakaran saat karbonisasi, aktivasi dan penghitungan nilai densitas elektroda dikelompokkan dua bagian sesuai dengan posisi saat pembakaran. Sel AB merupakan kombinasi elektroda pada lapisan atas dan bawah, sel CD merupakan elektroda pada lapisan atas dan sel EF merupakan elektroda pada lapisan atas.

Pengujian CV dilakukan menggunakan *Solatron Interface 1286* dengan tegangan 0 – 1 Volt dengan laju *scan* 1, 5, 10, 30, 50 dan 100 mV/s untuk semua kombinasi sel superkapasitor. Untuk menentukan kelayakan *reproducibility* sel dilakukan menggunakan simpangan terbesar dan terkecil.

Kayu karet yang digunakan adalah kayu yang sudah tidak produktif lagi. Kayu karet dipotong secara

melintang dengan ketebalan sekitar 4 - 5 mm yang berfungsi untuk mempertahankan struktur pori yang sudah ada secara alamiah didalam kayu dan digunakan sebagai saluran elektrolit saat pengukuran sel superkapasitor.

Kayu karet dikeringkan untuk mengurangi kadar air dengan oven pada suhu 110°C selama ±12 jam. Pengeringan ini dilakukan terus-menerus hingga massa dari kayu karet tersebut menjadi konstan. Selanjutnya kayu karet dicetak dengan alat *Hydraulic press* berbentuk bulat pipih dengan ketebalan 4 mm dan diameter 18 mm. Proses pencetakan dilakukan untuk mendapatkan ukuran yang sama pada setiap sampel. Kayu karet dikarbonisasi pada suhu 700°C dengan dialiri gas Nitrogen (N₂), kemudian sampel kayu karet dipoles menggunakan kertas pasir konveks P1000 dan P1200 hingga mencapai ketebalan ±0,6 mm dan diameter ±12 mm.

Elektroda karbon yang dibuat dari proses karbonisasi kemudian di aktivasi melalui aktivasi fisika dengan menggunakan gas CO₂ dengan suhu 900°C selama 2 jam untuk meningkatkan luas permukaan elektroda karbon (Taer *et al*, 2012).

Proses aktivasi dilanjutkan dengan proses aktivasi kimia yang terdiri dari dua jenis penggunaan zat aktivator berbeda yaitu 3 M KOH dan larutan 25% HNO₃ dengan masing-masing elektroda diberi label A, B, C, D, E, F.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Sifat Fisis

Peranan pengukuran densitas dari elektroda karbon aktif cukup penting dalam memperoleh nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan dari sel

superkapasitor. Hal ini berkaitan dengan pembentukan struktur pori dan tahanan yang dihasilkan pada saat pengukuran elektrokimia pada sel superkapasitor.

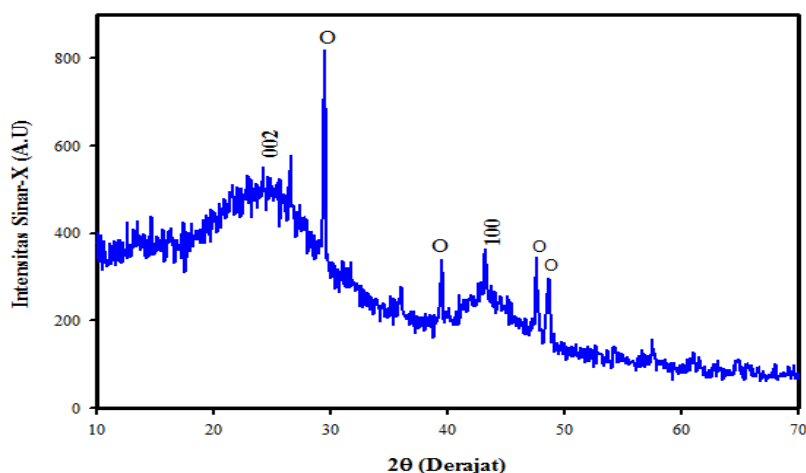
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan bahwa pembuatan elektroda karbon aktif kayu karet menggunakan larutan KOH menunjukkan perbedaan nilai densitas seperti ditampilkan pada Tabel 1. Nilai densitas tertinggi dan terendah terdapat pada elektroda F dan C, yaitu $0,481 \text{ gr/cm}^3$ dan $0,310 \text{ g/cm}^3$ dengan persentase kesalahan 10,33% dan 4,03%.

Pengukuran Difraksi Sinar-X (XRD) menghasilkan kurva hubungan antara intensitas sinar-X dan sudut 2θ yang dapat dilihat pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan difraktogram yang teramati untuk semua sampel yang

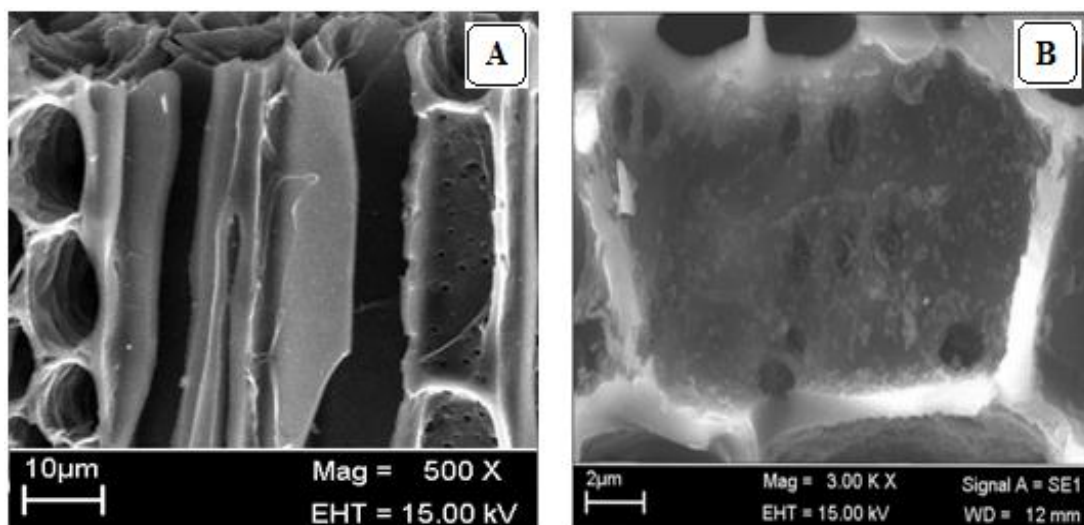
menunjukkan keberadaan dua puncak. Puncak pertama berada pada sudut $2\theta = 24,442^\circ$ dan puncak kedua berada pada sudut $2\theta = 44,101^\circ$ yang memiliki nilai hkl (002) dan (100) dengan struktur karbon adalah amorf. Bentuk amorf dari karbon dapat dilihat pada Gambar 1 untuk elektroda yang ditandai oleh kurva dengan bukit yang lebar dan puncak yang tumpul. Jarak kisi (d_{hkl}), tinggi lapisan (Lc) dan lebar lapisan (La) untuk elektroda karbon masing-masing puncak menunjukkan jarak kisi (d_{002}) sebesar 0,362 nm dan (d_{100}) sebesar 0,205 nm. Adapun puncak tajam yang ditandai dengan simbol lingkaran pada sudut $26^\circ, 40^\circ$ dan 48° diindikasikan dimiliki oleh Silika (SiO_2) yang ditemukan pada material biomassa (Taer *et al*, 2011).

Tabel 1. Densitas elektroda karbon aktif kayu karet.

NO	Kode Elektroda	Diameter Elektroda (mm)	Tebal Elektroda (mm)	Massa Elektroda (g)	Densitas Elektroda (g/cm^3)
1	A	11.37	0.28	0.0138	0.476
2	B	11.28	0.42	0.0136	0.324
3	C	12.13	0.63	0.0226	0.310
4	D	11.95	0.62	0.0235	0.336
5	E	11.76	0.64	0.0337	0.481
6	F	12.16	0.68	0.0322	0.408



Gambar 1. Pola difraksi sinar-X karbon aktif kayu karet



Gambar 2. SEM (A) tampak samping elektroda karbon aktif kayu karet perbesaran 500 X dan (B) tampak atas elektroda karbon aktif kayu karet perbesaran 3000 X

Pada Gambar 2 bagian A menunjukkan SEM Mikrograf tampak samping elektroda karbon aktif kayu karet dengan perbesaran 500 X. Gambar 2 bagian B dengan perbesaran 3000 X tampak atas menunjukkan adanya pori berupa terowongan lurus kebawah dapat diyakini bahwa bentuk pori yang seperti ini memungkinkan memudahkan ion – ion untuk berdifusi menuju mesopori dan mikropori. Gambar 2 menunjukkan SEM Mikrograf dari permukaan elektroda karbon aktif kayu karet dengan perbesaran masing – masing 500 dan 3000 X. Perbesaran 3000 X dapat dilihat lubang – lubang pori yang tidak terisi atau keadaan kosong sehingga diyakini antara pori dan batas partikel dapat dijadikan terowongan untuk mendifusikan ion – ion masuk kedalam pori sehingga mikroporinya dapat terisi serta menjamin adanya peningkatan nilai kapasitansi spesifik.

b. Pengukuran Sifat Elektrokimia

Kurva CV menunjukkan hubungan perubahan rapat arus terhadap tegangan untuk menentukan nilai kapasitansi spesifik dari elektroda karbon menggunakan *Solatron Interface 1286* dengan tegangan 1 Volt. Data arus dalam penelitian ini diolah menjadi kapasitansi spesifik menggunakan Persamaan 1, sehingga hasil pengukuran ditampilkan menjadi hubungan kapasitansi spesifik terhadap tegangan. Gambar 3 menunjukkan CV dengan berbagai sel superkapasitor pada laju *scan* 1 mV/s. Peningkatan nilai kapasitansi spesifik dengan aktivasi kimia menggunakan larutan KOH menyebabkan perubahan bentuk permukaan karbon yang berpengaruh terhadap jumlah ion yang meresap kedalam pori meso dan mikro (Inagaki et al, 2010). Kapasitansi spesifik dihasilkan dengan menggunakan metode *Cyclic Voltametry* dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$C_{sp} = \frac{I}{(s \cdot m)} \quad (1)$$

Dimana:

C_{sp} = Kapasitansi spesifik (F/g)

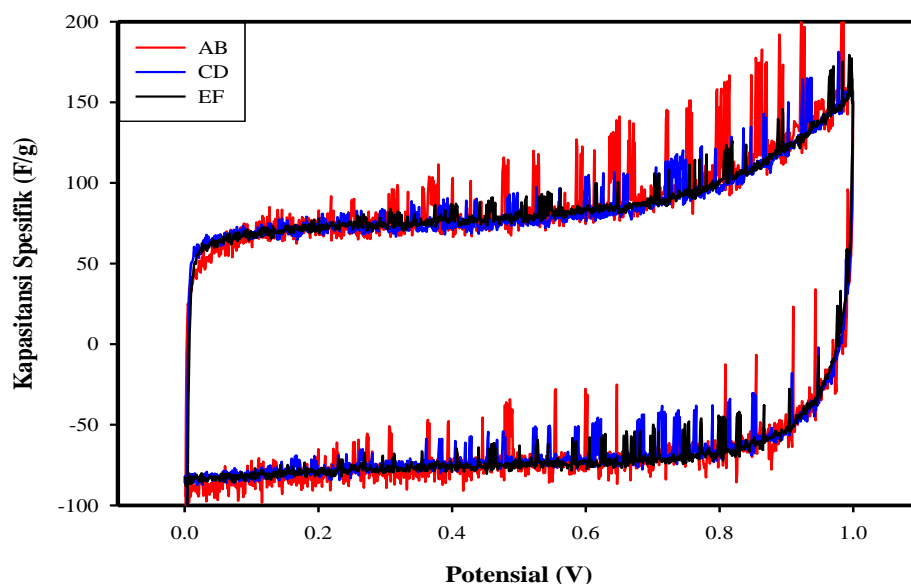
I = Rapat arus (A/cm²)

s = Laju *scan* (mV/s)

m = Massa elektroda (g)

Kurva pengukuran *Cyclic Voltammogram* dapat dilihat pada Gambar 3 pada laju *scan* 1mV/s, Gambar 4 pada laju *scan* 50 mV/s dan Gambar 5 pada laju *scan* 100 mV/s.

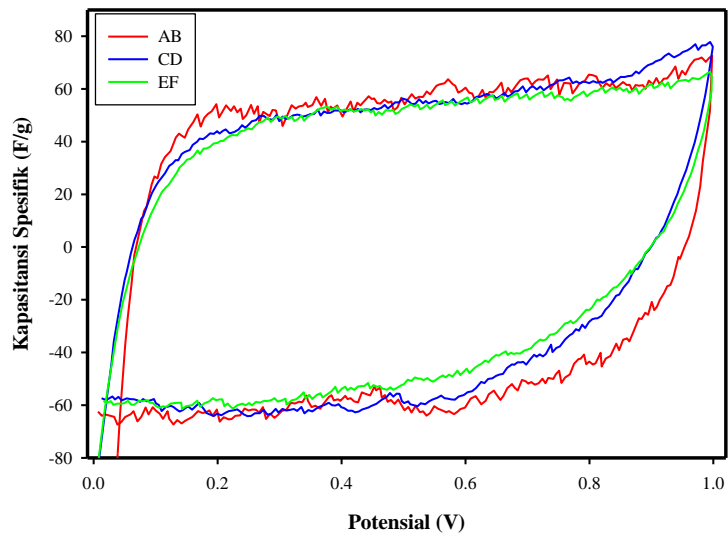
Bentuk segiempat pada kurva menunjukkan besarnya nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan. Nilai kapasitansi spesifik dipengaruhi oleh arus *charge* dan *discharge*. Perhitungan arus *charge* dan *discharge* kapasitansi spesifik diambil pada titik tengah kurva pada tegangan 0,5 V. Nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor pada laju *scan* 1 mV/s dari urutan tertinggi adalah EF, AB dan CD dengan masing – masing nilai kapasitansi spesifik 78,692 F/g, 76,523 F/g dan 73,377 F/g.



Gambar 3. Kurva CV berbagai sel superkapasitor pada laju *scan* 1 mV/s

Tabel 2. CV berbagai sel superkapasitor pada laju *scan* 1 mV/s

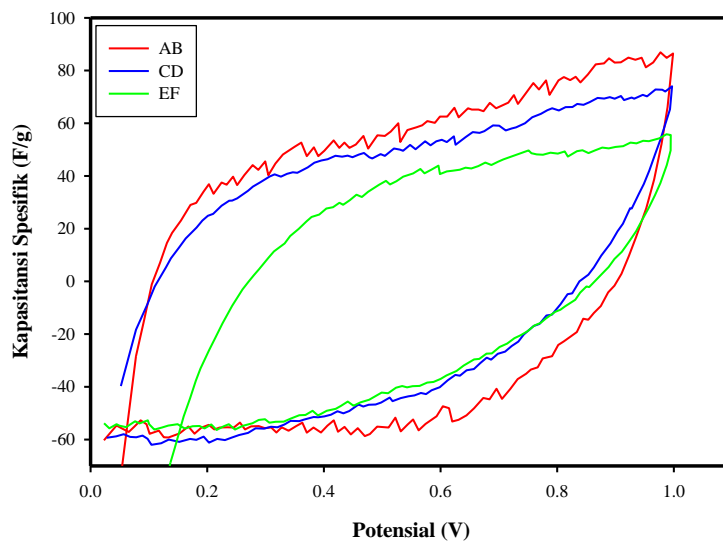
Kode Sel	Laju <i>scan</i> (mV/s)	Massa (gram)	<i>Charge</i> (I_c)	<i>Discharge</i> (I_d)	C_{sp} (F/g)	Persentase Kesalahan (%)
AB	1	0.0137	0.00057269	-0.00047577	76.52993	0.428
CD	1	0.02305	0.0008713	-0.00082003	73.37657	3.701
EF	1	0.03295	0.0013595	-0.0012334	78.69196	3.274



Gambar 4. CV berbagai sel superkapasitor pada laju *scan* 50 mV/s

Tabel 3. CV berbagai sel superkapasitor pada laju *scan* 50 mV/s

Kode Sel	Laju <i>scan</i> (mV/s)	Massa (gram)	Charge (I_c)	Discharge (I_d)	Csp (F/g)	Persentase Kesalahan (%)
AB	50	0.0137	0.018546	-0.021225	58.05985	3.594
CD	50	0.02305	0.032485	-0.034124	57.79523	3.123
EF	50	0.03295	0.04322	-0.042914	52.28164	6.714



Gambar 5. CV berbagai sel superkapasitor pada laju *scan* 100 mV/s

Tabel 4. CV berbagai sel superkapasitor pada laju *scan* 100 mV/s

Kode Sel	Laju <i>scan</i> (mV/s)	Massa (gram)	Charge (I_c)	Discharge (I_d)	Csp (F/g)	Persentase Kesalahan (%)
AB	100	0.0137	0.037821	-0.037752	55.16277	16.785
CD	100	0.02305	0.055646	-0.05302	47.1436	0.193
EF	100	0.03295	0.060334	-0.069485	39.39879	16.589

Peningkatan nilai kapasitansi spesifik dengan aktivasi kimia menggunakan KOH disebabkan adanya perubahan bentuk permukaan karbon. Perubahan bentuk permukaan karbon berpengaruh terhadap jumlah ion yang berpindah dan meresap kedalam pori meso dan mikro (Inagaki *et al.*, 2010).

Gambar 3 dapat dilihat jelas bahwa bentuk kurva untuk seluruh sel superkapasitor mempunyai bentuk yang sama dan hampir berhimpitan dengan persentase kesalahan sel superkapasitor AB, CD dan EF masing – masing adalah 0,428 %, 3,701 % dan 3,274 %.

Gambar 4 menunjukkan bentuk CV dari berbagai sel superkapasitor dengan laju *scan* 50 mV/s. Nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor dari urutan tertinggi adalah AB, CD dan EF dengan masing – masing nilai kapasitansi spesifik 58,059 F/g, 57,795 F/g dan 52,282 F/g. Gambar 4 dapat dilihat jelas bahwa bentuk kurva untuk seluruh sel superkapasitor mempunyai bentuk yang sama tetapi mulai menunjukkan penyimpangan dengan persentase kesalahan sel superkapasitor AB, CD dan EF masing – masing adalah 3,594 %, 3,123 % dan 6,714 %.

Gambar 5 menunjukkan bentuk CV dari berbagai sel superkapasitor dengan laju *scan* 100 mV/s. Nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor dari urutan tertinggi adalah AB, CD dan

EF dengan masing – masing nilai kapasitansi spesifik 55,163 F/g, 47,144 F/g dan 39,399 F/g. Gambar 5 menunjukkan dengan jelas bahwa bentuk kurva untuk seluruh sel superkapasitor mempunyai bentuk yang sama tetapi menunjukkan penyimpangan yang signifikan dengan persentase kesalahan sel superkapasitor AB, CD dan EF masing – masing adalah 16,785 %, 0,193 % dan 16,589 %.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan mengenai pengujian reproduibilitas sifat kapasitif elektroda karbon kayu karet dapat dilihat bahwa pada laju *scan* 1 mV/s dan 50 mV/s telah dibuktikan bahwa persentase kesalahan pengukuran kapasitansi spesifik sel superkapasitor kurang dari 5 %. Laju *scan* 100 mV/s sel superkapasitor menunjukkan penyimpangan data kapasitansi spesifik besar dari 5 %. Secara keseluruhan disimpulkan bahwa pada laju *scan* 1 mV/s – 50 mV/s pengukuran sel superkapasitor kapasitansi spesifik kayu karet menghasilkan persentase kesalahan kurang 5 % yang menunjukkan tingkat *reproducibility* yang cukup baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DP2M DIKTI yang telah memberikan dukungan dalam penelitian

ini melalui Hibah Kerjasama Internasional dan *Scientific* Publikasi tahun 2013 – 2014 dengan judul “Composite of Biomass Based Activated Carbon Monolith and Nanomaterials Metal Oxide for Electrochemical Capacitor Application” dengan Peneliti Utama Dr. Erman Taer, M.Si.

Electrochemical Science 6: 3301-3315.

Taer, E., 2012. Elektroda Karbon Superkapasitor dari Biomassa, FMIPA, Universitas Riau.

DAFTAR PUSTAKA

Caulcutt, R. 1995. The rights and wrongs of control charts. *Applied Statistics*, 44(3), 279-288.

Inagaki, M., Konno, H. & Tanaike. O. 2010. Carbon materials for electrochemical capacitors. *Journal of Power Source* 195:7880-7903.

Liu, M.-C., Kong, L.-B., Zhang, P., Luo, Y.-C. & Kang, L. 2012. Porous wood monolith for high-performance supercapacitor. *Electrochemical Acta* 60:443-448.

Park, B.-O., Lokhande, C. D., Hyung-Sang Park, Kwang-Deog Jung and Oh-Shim Joo 2004. "Performance of supercapacitor with electrodeposited ruthenium oxide film electrodes-effect of film thickness." *Journal of Power Sources* 134(1): 148-152.

Taer, E., Deraman, M., Talib, I.A., Awitdrus, A., Hashmi, S.A and Umar, A.A. 2011. Preparation of a Highly Porous Binderless Activated Carbon Monolith from Rubber Wood Sawdust by a Multi-Step Activation Process for Application in Supercapacitor. *International Journal of*