

# Fabrikasi Thin Film Nano CNT-MnO<sub>2</sub> menggunakan Metode Electrophoretic Deposition sebagai Elektroda Superkapasitor

Alfin Darari, Arifin, Hafidh Rahman Ardiansah, Agus Subagio, Andini Novia Ningrum, Nurmanita Rismaningsih  
Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Indonesia  
Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Indonesia  
Jl. Prof. Soedarto SH Tembalang, Semarang 50275  
Email: [alfindarari@st.fisika.undip.ac.id](mailto:alfindarari@st.fisika.undip.ac.id)

## ABSTRAK

*Krisis energi merupakan masalah utama dalam era modern ini. Hal ini dikarenakan bahan bakar fosil yang semakin lama menipis menyebabkan manusia untuk terus mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi. Solusi saat ini adalah menggunakan energi listrik yang menjadi salah satu energi alternative dalam menangani masalah krisis energy, Namun Matahari tidak selalu bersinar, angin tidak bias berhembus sesuai keinginan, maka perkembangan penyimpanan energilah yang terus dikembangkan. Carbon nanotube adalah material yang berpotensi sebagai bahan elektroda superkapasitor untuk storage yang memiliki rapat energy tinggi adan rapat daya yang tinggi karena properti mekaniknya yang sangat baik dan konduktivitas yang baik. Dalam pemanfaatannya saat ini, Elektroda CNT dengan komposit MnO<sub>2</sub> yang dibuat dengan metode sol gel memiliki kelemahan yaitu hasil material yang dibentuk tidak merata sehingga hambatan masih sangat besar. Tujuan dari penelitian ini adalah dengan pembuatan thin film CNT dengan metode electrophoretic deposition sebagai elektroda superkapasitor sehingga memiliki lapisan merata, hambatan rendah, serta memiliki kapasitansi yang tinggi. Hasil didapatkan elektroda superkapasitor dengan komposisi terbaik CNT:MnO<sub>2</sub> adalah 75%:25% selanjutnya dilakukan pengujian XRD. Didapatkan hasil XRD didapatkan peak  $2\theta = 26,63^\circ$  yang merupakan karakteristik dari Karbon tipe graphite, dan pada  $2\theta = 43,97^\circ$  yang merupakan karakteristik Karbon tipe diamond. dan CNT-MnO<sub>2</sub> menunjukkan bentuk dan ukuran kristalin dari material CNT-MnO<sub>2</sub>. Peak dengan intensitas tertinggi teramati pada  $2\theta = 26,25^\circ$ .*

*Kata Kunci : Energi penyimpanan, Superkapasitor, Electrophoretic deposition*

## LATAR BELAKANG

Krisis energi yang terjadi di Indonesia menjelang akhir abad 20 mengisyaratkan bahwa suplai energi tidak dapat mengimbangi tingginya laju permintaan. Menurut data statistik Kementerian Sumber Daya Indonesia tahun 2012 permintaan energi di Indonesia sebesar 200 juta TOE pada tahun 2011 sedangkan suplai energi di Indonesia tahun 2011 hanya 161 juta TOE. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sebagai sumber energi, memiliki tiga ancaman serius, yakni menipisnya cadangan minyak bumi, ketidakstabilan harga akibat laju permintaan yang lebih besar, dan polusi gas rumah kaca akibat pembakaran bahan bakar fosil. Energi listrik menjadi salah satu alternatif terbaik untuk suplai energi masa depan (Karno, 2011). Penggunaan energi listrik setiap tahunnya dalam jumlah besar yaitu 200 Juta TOE/tahun dan terus meningkat maka dibutuhkan media penyimpanan energi listrik yang dapat memuat daya yang besar, aman, dan tahan lama.

Adapun berbagai media penyimpanan energi yang ada adalah dengan menggunakan baterai, dan kapasitor (Guizhou, 2014). Media penyimpanan baterai memiliki kelemahan yaitu memiliki rapat energi yang besar namun memiliki rapat daya yang kecil, artinya baterai tahan lama namun hanya dapat memuat daya listrik yang rendah (Brasetya,

2010). Sedangkan kapasitor memiliki rapat daya yang besar namun memiliki rapat energi yang kecil. Dari berbagai fakta tersebut maka dibutuhkan media penyimpanan energi listrik yang memiliki rapat energi dan rapat daya yang besar, yaitu media penyimpanan yang mampu menyimpan energi listrik skala besar dan dalam jangka waktu yang lama, Storage tersebut diberi nama superkapasitor, yang saat ini sedang dikembangkan untuk pengembangan pengembangan seperti teknologi militer, Pesawat luar angkasa, dan mobil listrik (Du, 2013)

Nano teknologi di dunia saat ini berkembang begitu pesat. Dalam beberapa tahun terakhir, pemanfaatan superkapasitor sedang ramai dikaji dan dieksplorasi. Superkapasitor merupakan media penyimpan energi listrik yang memiliki daya kapasitansi listrik yang tinggi, rapat daya dan rapat energi yang besar (Wang, 2013). Superkapasitor tersusun atas elektroda potensial, separator celgard dan pengumpul muatan berupa stainless steel foil. Nanokomposit Carbon nanotubes (CNT) merupakan bahan elektroda potensial untuk dijadikan superkapasitor. CNT memiliki sifat mekanik yang sangat baik dan konduktivitas listrik (Aswardi, 2013). Wang dkk(2011) melaporkan pembuatan nanokomposit CNT dapat difabrikasi menjadi sebuah elektroda superkapasitor yang

merupakan material terpenting dalam kapasitor, karena elektroda merupakan elemen yang menyimpan medan listrik dalam superkapasitor, semakin tinggi konduktivitasnya, semakin baik pula kualitas kapasitor tersebut (Aswardi, 2013). Penggunaan nanokomposit CNT sebagai elektroda superkapasitor akan meningkatkan kinerja akses ion ke permukaan sehingga dapat meningkatkan konduktivitas elektronik dan elektrokimia.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk membuat superkapasitor. Contohnya metode sol gel (Aswardi, 2013), Metode double layer thin film (Krause, 2011), dan metode doctor blade (Pawar, 2011) namun metode ini memiliki kelemahan seperti metode sol gel, memiliki kelemahan hasil lapisan tidak merata sehingga kapasitas untuk menyimpan daya menjadi berkurang, metode double layer thin film yang menghasilkan elektroda terlalu tebal, mikrostruktur tidak homogen, sehingga hasil kapasitansi masih rendah dan metode doctor blade yang rapuh dan rentan sekali rusak (Lu, 2014). Dari berbagai metode tersebut belum dapat membuat elektroda superkapasitor yang ringan, terikat kuat pada substrat, dan metodenya rumit / sulit diterapkan.

Dari berbagai fakta di atas salah satu inovasi yang dapat memecahkan masalah media penyimpanan energi, dan kelemahan metode pembuatan elektroda superkapasitor adalah dengan membuat elektroda superkapasitor dengan metode deposisi elektroforesis (Yang, 2012). Inovasi penelitian ini adalah membuat CNT MnO<sub>2</sub> thin film menggunakan metode deposisi secara elektroforesis. Keunggulan dari inovasi ini adalah dihasilkan komposit CNT yang berukuran nano, dengan mikrostruktur yang homogen. Serta ditambahnya doping dengan material berkonduktivitas tinggi yaitu MnO<sub>2</sub> yang memiliki keunggulan lebih murah, tidak beracun, serta memiliki kapasitansi yaitu 1370F/g (Aswardi, 2013). Dengan begini dapat dibuat material elektroda superkapasitor berteknologi nano yang murah, ringan karena dibuat menjadi thin film yang langsung menempel pada substrat stainless steel foil dengan menyimpan daya kapasitansi tinggi, dan bertahan lama.

Penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan energi dan ilmu pengetahuan dalam bidang media penyimpanan energi listrik dalam mengatasi krisis energi nasional. Hal ini mengingat karena sampai saat ini, suplai energi masih mengandalkan energi produk dari proses pengolahan bahan bakar fosil padahal bahan bakar fosil akan habis dan tidak dapat diperbaharui.

Berdasarkan uraian tersebut diperlukan usaha-usaha untuk mengeksplorasi energi alternatif salah satunya energi listrik dan media penting dalam penyimpanannya yaitu dengan superkapasitor menggunakan elektroda CNT thin film dengan metode elektroforesis keunggulan dari penelitian

ini adalah dapat membuat elektroda superkapasitor yang memiliki konduktivitas yang tinggi dan kapasitansi tinggi sehingga kedepannya dapat membantu dalam bidang media penyimpanan energi. Penelitian ini menggabungkan 2 metode dalam pembuatan superkapasitor yaitu metode double layer dan Pseudocapacitor disebut metode elektroforesis deposisi mengenai fabrikasi thin film nano CNT-MnO<sub>2</sub> masih baru dan sangat berpotensi untuk diteliti. Fokus penelitian ini pada pembuatan thin film nano CNT-MnO<sub>2</sub> melalui metode elektroforesis deposisi

Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan modifikasi nanopartikel thin film CNT menggunakan metode electrophoretic deposition sebagai elektroda superkapasitor
2. Merancang dan menguji superkapasitor berbasis nanoteknologi
3. Pengembangan riset dan teknologi dalam mengatasi krisis energi dalam kajian media penyimpanan energi listrik nasional.

## **METODOLOGI PENELITIAN**

### **Tempat dan Waktu Penelitian**

Waktu yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah 5 bulan. Kegiatan dilakukan di dua tempat, yaitu : Laboratorium Fisika Material Fakultas Sains dan Matematika, Laboratorium Kimia anorganik, dan Laboratorium Kimia Fisik, Universitas Diponegoro Semarang.

### **Variabel Penelitian**

#### **Variabel Bebas**

1. Pelapisan CNT pada substrat Stainless steel foil
2. Lama proses deposisi dengan metode elektroforesis

#### **Variabel Kontrol**

1. Ukuran CNT pada substrat Stainless steel foil
2. Kapasitansi dan Impedansi superkapasitor dengan elektroda CNT thin film

#### **Variabel Tetap**

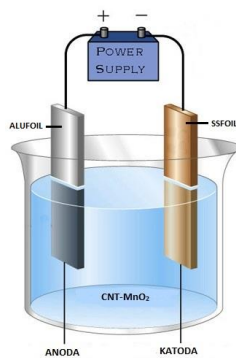
1. Bahan baku material CNT thin film
2. Kerangka dan sistem superkapasitor dengan elektroda CNT thin film

### **Prosedur Kerja**

Sintesis Carbon Nanotube dilakukan dengan mencampurkan 0,6 gram ferrocene ke dalam 10 ml benzene. Komposisi antara ferrocene dan benzene ini dibuat tetap dan selanjutnya dengan suhu 900°C. Terlebih dahulu dilakukan thermal cleaning dengan mengalirkan gas argon ke dalam tabung quartz sambil menaikkan temperatur pemanas dari temperatur kamar ke temperatur 900°C. ferrocene dan benzene disemprotkan ke dalam tabung. Proses sintesis dilakukan selama 30 menit. CNT yang dihasilkan berupa serbuk dan diayak pada 175 mesh. CNT hasil ayakan dimurnikan dengan metode pencucian menggunakan asam HNO<sub>3</sub> 65%

sebanyak 50ml dan refluks selama 7 jam. CNT yang telah dimurnikan kemudian di oven dan dikalsinasi menggunakan furnace pada suhu 80°C selama 1 jam. Selanjutnya dilakukan pencampuran Komposisi CNT/MnO<sub>2</sub>, Pembuatan nano MnO<sub>2</sub> dari Metode Sol gel dari KMnO<sub>4</sub>, dan dicampurkan pada larutan CNT. Dengan komposisi 25%, 50%, dan 75%, kemudian dilakukan pengujian FTIR, untuk menganalisis serbuk komposisi terbaik.

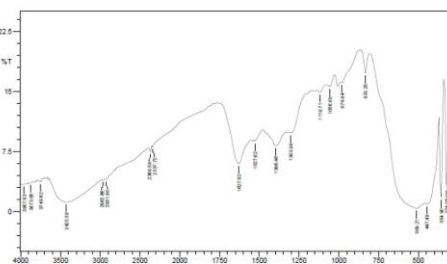
*Electrophoretic deposition* dilakukan dengan Rangkaian Electrophoretic Deposition ini bertujuan untuk mendeposisi CNT-MnO<sub>2</sub> kedalam ssfoil. Peralatan yang digunakan adalah pelat aluminiumfoil dan ssfoil, sebuah power supply, dan larutan CNT-MnO<sub>2</sub>. Spesifikasi dari power supply ini memiliki tegangan 50 Volt, arus 5 A, dan daya 250 Watt. Skema rangkaian seperti gambar 1. Masukan tegangan 50 volt.



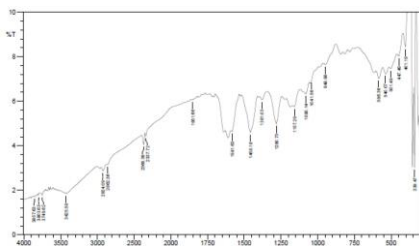
Gambar 1. Visualisasi Electrophoretic deposition

## HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN Uji FTIR

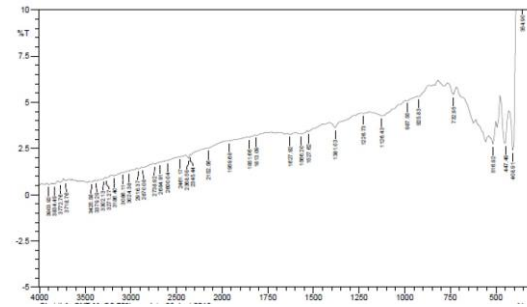
Tujuan dari pengujian FTIR (Fourier Transform Infra Red) adalah untuk mengetahui vibrasi transisional ikatan pada material CNT terhadap MnO<sub>2</sub>



Gambar 2. Komposisi CNT:MnO<sub>2</sub> 25:&75



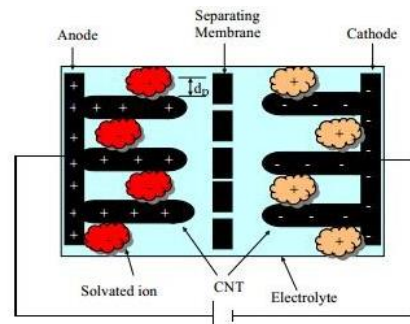
Gambar 2. Komposisi CNT:MnO<sub>2</sub> 50:50



Gambar 3. Komposisi CNT:MnO<sub>2</sub>

hasil spectrum FTIR dari ketiga sampel CNT-MnO<sub>2</sub>. Dapat dilihat spectrum pada gambar satu dan dua terdapat noise dan puncak yang ditunjukkan pun tidak merata. Spectrum pada gambar tiga menunjukkan intensitas puncak yang terdeteksi adalah pada bilangan gelombang daerah fingerprint kurang dari 500 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan terdeteksinya vibrasi transisional ikatan C-C sp<sup>3</sup> tanpa adanya noise. Dari data diatas didapatkan hasil optimal CNT:MnO<sub>2</sub>, Terikat kuat pada komposisi 75% CNT :MnO<sub>2</sub>.

## Mekanisme Electrophoretic Deposition



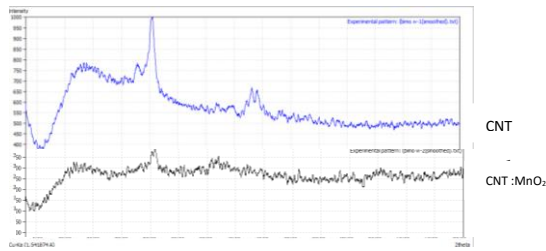
Gambar 4. Proses Electrophoretic

CNT:MnO yang terdispersi dalam DMF ketika dialiri arus DC sebesar 50 volt menyebabkan terjadi mobilisasi ion ke kutub positif yaitu anoda. Sehingga CNT-MnO<sub>2</sub> dapat terdekomposisi pada SS foil dimana SS foil sebagai anoda dengan reaksi redoks.mekanisme ini akan berlangsung terus menerus sehingga deposisi material akan menempel secara perlahan dan didapatkan lapisan tipis elektroda superkapasitor.

## Analisa XRD

Tujuan dari pengujian XRD(X-Ray Difrraction) adalah untuk mengetahui jenis kristal yang ada pada lapisan CNT:MnO<sub>2</sub> pada ss foil :

Tujuan dari pengujian XRD(X-Ray Diffraction) adalah untuk mengetahui jenis kristal yang ada pada lapisan CNT:MnO<sub>2</sub>



Gambar 5. Analisa XRD pada elektroda

Dari data diatas didapatkan menunjukkan difraktogram hasil dari analisis X-Ray Diffraction dari material CNT. Menggunakan Software MATCH! Didapatkan Difraktogram menunjukkan bentuk dan ukuran kristalin dari material CNT. Peak dengan intensitas tertinggi teramati masing-masing pada  $2\theta = 26,63^\circ$  yang merupakan karakteristik dari Karbon tipe graphite, dan pada  $2\theta = 43,97$  yang merupakan karakteristik Karbon tipe diamond. dan CNT-MnO<sub>2</sub> menunjukkan bentuk dan ukuran kristalin dari material CNT-MnO<sub>2</sub>. Peak dengan intensitas tertinggi teramati pada  $2\theta = 26,25^\circ$ . Peak tersebut merupakan karakteristik dari MnO<sub>2</sub> tipe manganite. Dapat disimpulkan didapatkan kristal CNT:MnO<sub>2</sub> dalam material tersebut positif terdeteksi CNT dan MnO<sub>2</sub>.

### Hubungan Material terhadap Performa Superkapasitor

Dengan adanya Carbon nanotube pada elektroda Ketika proses pemberian muatan maka collector akan bermuatan listrik dan kemudian akan menginduksi elektroda. Aksesibilitas dari ion-ion ke dalam permukaan elektroda akan sangat dipengaruhi oleh diameter pori, atau secara tidak langsung berupa volum pori. Semakin besar mesoporositas maka aksesibilitas ion akan lebih cepat dan akan meningkatkan efisiensi dari luas permukaan elektroda superkapasitor. Hubungan struktur pori dengan kapasitansi spesifik superkapasitor menunjukkan bahwa tidak hanya tersedia luas permukaan spesifik yang tinggi sebagai tempat anion ataupun kation tetapi juga tersedianya akses bagi ion-ion menuju kedalam pori yang baik. Oleh karena itu, menyiapkan karbon berpori yang memiliki luas permukaan tinggi dan memiliki mesoporositas yang tinggi

seperti CNT menjadi hal yang penting dalam menyiapkan material elektroda superkapasitor

Mekanisme kerja superkapasitor memanfaatkan muatan untuk menyimpan energi. Bila tegangan diterapkan, muatan terakumulasi pada permukaan elektroda. Ion-ion dalam larutan elektrolit mengalir melalui separator ke dalam pori-pori Carbon nanotube elektroda muatan pada elektroda yang berlawanan muatan. Namun, Carbon nanotube dimodifikasi dengan mangan dioxide untuk mencegah rekombinasi ion. Sehingga, muatan double layer dihasilkan di setiap elektroda elektroda. Double-layer tersebut, tercipta seiring dengan peningkatan luas permukaan dan penurunan jarak antara elektroda, hal memungkinkan untuk mencapai energi yang lebih tinggi kepadatan dibandingkan kapasitor konvensional. Karena tidak ada transfer muatan antara elektrolit dan elektroda, tidak terdapat bahan kimia atau komposisi muatan yang terkait dengan proses non-Faradaic. Untuk alasan ini, muatan yang tersimpan sangat reversibel yang memungkinkan muatan tersebut dapat mencapai kestabilan siklus. umumnya beroperasi dengan performa yang stabil dengan banyak siklus charge-discharge, kadang-kadang sebanyak  $10^6$  siklus. Di sisi lain, baterai elektrokimia umumnya terbatas pada hanya sekitar  $10^3$  siklus. Karena stabilitas siklusnya, CNT:MnO<sub>2</sub> sangat cocok untuk aplikasi pada wilayah yang sulit dijangkau seperti laut, pegunungan, dan laut dalam. Inovasi ditambahkan dengan menempelkan mangan dioxide kedalam struktur CNT sehingga dapat meningkatkan kapasitansi lebih besar, dan dapat mencapai dapat mencapai rapat energi dan daya lebih besar dibandingkan EDLCs tanpa mengurangi stabilitas siklusnya.

### Kesimpulan

Hasil dari peneliiian menunjukkan bahwa pelapisan material CNT:MnO<sub>2</sub> dengan metode *electrophoretic deposition* sebagai elektroda superkapasitor didapatkan :

1. MnO<sub>2</sub> terikat kuat dalam struktur CNT dengan komposisi CNT:MnO<sub>2</sub> 75:25
2. CNT: :MnO<sub>2</sub> telah berhasil menempel erat pada lapisan SS foil
3. Peak dengan intensitas tertinggi teramati pada  $2\theta = 26,25^\circ$ . Peak tersebut merupakan karakteristik dari MnO<sub>2</sub> tipe manganite. didapatkan kristal CNT:MnO<sub>2</sub> dalam material tersebut positif terdeteksi CNT dan MnO<sub>2</sub>.

4. Semakin kecil mesoporous material pada elektroda semakin tinggi pula electron yang disimpan.
5. Superkapasitor memiliki pontesi yang besar untuk dikembangkan menjadi piranti penyimpanan energy listik karena memiliki rapat energi dan rapat daya yang besar, waktu pengecasan yang lebih pendek, serta memiliki siklus hidup yang lebih panjang daripada baterai

*lithium-ion capacitor based on carbon black*, Journal of Power Sources 196 (2011) 8836–8842, 11-20, July (2011)

Pawar, SM.BS Pawar. J.H. Kim a. Oh-Shim Joo b. Lokhande 2011, *Recent status of chemical bath deposited metal chalcogenide and metal oxide thin films*, Current Applied Physics 11 (2011) 117-161, July 2010

Sarkar, Anirban. And Theda Daniels-Race. 2013. *Electrophoretic Deposition of Carbon Nanotubes on 3-Amino-Propyl-Triethoxylane(APTES) Surface Functionalized Silicon Substrates*. *Nanomaterials*, Volume 3, 272-288, 2 May 2013

Su, Y, I Zhitomirsky.2013. *Electrophoretic deposition of grapheme, Carbon nanotubes and composite films using methyl violet dye as a dispersing agent*. *Colloids and Surfaces A: Physicochem.Eng. Aspects* 436, 97-103,2013

#### DAFTAR PUSTAKA

Aswardi,. 2012. *Pengaruh Variasi Ph Pada Proses Modifikasi Komposit CNT-MnO2 Untuk Optimalisasi Karakter Superkapasitor* 546 ASW p. PERPUSTAKAAN FAKULTAS SAINS DAN MATEMATIKA UNIVERSITAS DIPONEGORO

BOYEA, R.E. CAMACHO,S. P. TURANO and W. J. READY. 2007. *Carbon Nanotube-Based Supercapacitors: Technologies and Markets*. *NANOTECHNOLOGY LAW & BUSINESS* • Volume 4 No. 1

Daniels-Race, 2013, *Electrophoretic Deposition of Carbon Nanotubes on 3-Amino-Propyl-Triethoxysilane (APTES) Surface Functionalized Silicon Substrates, Preparation and Investigation of Photocatalytic Properties of ZnO Nanocrystals: Effect of Operational Parameters and Kinetic*, World Academy of Science, Engineering and Technology, pp. 29.

Du, Chungseong, Ning Pan, 2006, *Supercapacitors using carbon nanotubes films by electrophoretic deposition*, Journal of Power Source 160(2006) 1487-1494, April 2006.

Frackowiak, Elzbieta , Qamar Abbas, Franc,ois B´eguin, 2013, Carbon/carbon supercapacitors, Journal of Energy Chemistry 22(2013)226–240, Februari 2013

HO M.Y., P.S. KHIEW, D. ISA, T.K. TAN , W.S. CHIU, C.H. CHIA, M.A.A. HAMID & R. SHAMSUDIN, 2014, Nano Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Activated Carbon Composites for Aqueous Supercapacitors, Sains Malaysiana 43(6)(2014): 885–894

Karno, Waryono, Joko Santoso, 2011, *Kajian Enrgy Outlook*,Pusat Data Statistik sumber daya Kementrian Energi Baru Terbarukan Indonesia

Krause, A P. Kossyrevb, M. Oljacac, S. Passerinia, M. Wintera, A. Balduccia, 2011, *Electrochemical double layer capacitor and*